

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA

INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA

**PRODUCCIÓN DE HARINA DE PLUMAS DE POLLO Y SU
UTILIZACIÓN COMO UN ADSORBENTE DE HIDROCARBUROS,
EN AGUA DULCE.**

Previa a la obtención de Grado Académico o Título de:

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA

ELABORADO POR:

PABLO D. SALINAS S.

SANGOLQUÍ, 25 de junio de 2010

LEGALIZACIÓN DE FIRMAS

ELABORADO POR

Pablo D. Salinas S.

COORDINADOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN
BIOTECNOLOGÍA

Ing. Rafael Vargas

SECRETARIA ACADÉMICA

Abg. Vanessa Andrade

SANGOLQUÍ, 25 de junio de 2010

CERTIFICACIÓN

Certificó que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr. PABLO DAVID SALINAS SALINAS como requerimiento parcial a la obtención del título de INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA.

25 de junio de 2010

Ing. Patrícia Moreira

DIRECTOR

Ing. Pedro Romero

CODIRECTOR

REVISADO POR:

Ing. Rafael Vargas

DEDICATORIA

Dedico este proyecto y toda mi carrera universitaria a mis padres Rubén y Elsa ya que gracias a ellos soy quien soy hoy en día, fueron los que me dieron ese cariño y calor humano necesario, son los que han velado por mi salud, mis estudios, mi educación alimentación entre otros, son a ellos a quien les debo todo, horas de consejos , de regaños y de alegrías de las cuales estoy muy seguro que las han hecho con todo el amor del mundo para formarme como un ser integral y de las cuales me siento orgulloso. Les agradezco a mis hermanos Lucy, Hernán, Pablo, Gaby, Daya a mis sobrinos Isabella y Esteban los cuales han estado conmigo en todos los momentos buenos y malos.

AGRADECIMIENTO

A mi Dios y a la Virgen del Quinche, quienes me dieron la fe, la fortaleza, la salud y la esperanza para terminar este trabajo.

Agradezco a la Escuela Politécnica del Ejército por haberme abierto las puertas del conocimiento, para mi formación profesional.

Un agradecimiento especial a la Universidad Central del Ecuador en particular la Escuela de Ingeniería Química y La Facultad de Ciencias Químicas por haberme permitido llevar acabo mi proyecto de tesis.

A la Ingeniera Patricia Moreira por la confianza, y el apoyo brindado en el desarrollo del presente proyecto.

Al Ingeniero Pedro Romero por su valioso apoyo brindando sus conocimientos y valores para mi formación profesional.

A mis primos y amigo Pedro, Javier y Giovanni por ayudarme en la elaboración de mi tesis.

A mis abuelitos Tobías (+), Eloísa (+) Vicente (+) y Rosario gracias por enseñarme que lo más importante en la vida son los estudios y por los valores ensañados.

A mis amigas Cris, Andre, Caro y Fer por ofrecerme su amistad sincera, por las alegrías, tristezas por los trabajos, las malas noches y las fiestas que hemos vivido durante la vida universitaria.

A mis amigos y compañeros en el transcurso de la carrera por los momentos compartidos dentro y fuera de las aulas de clases.

Pablo D. Salinas S.

RESUMEN

El presente trabajo de grado presenta una alternativa para resolver el problema de contaminación de agua con hidrocarburos, a partir del uso de un adsorbente natural como las plumas de pollo, las mismas que deben tener un tratamiento previo que consiste en lavado, pasteurización, secado, molienda y tamizado para obtener harina de plumas de pollo para ser utilizadas como adsorbente. A esta materia prima se le realizó un análisis químico (proteína cruda, cenizas y humedad) y un análisis físico (densidad aparente, flotabilidad y flamabilidad).

El proceso se inicio contaminando un volumen de agua, para lo cual se realizaron pruebas para conocer la concentración mínima de hidrocarburo mediano que contamine dicho volumen de agua, posteriormente se dosificó diferentes cantidades de la harina de plumas de pollo para determinar la mejor capacidad de sorción y el mejor tiempo de contacto de la harina de plumas de pollo con el crudo; esto se realizó manejando tres variables: el tipo de harina de plumas de pollo (sin tamizar, gruesa y fina), la cinética del agua (reposo y movimiento) y el tiempo de contacto (5 y 15 min).

Finalmente se midieron después del proceso de biorremediación los siguientes parámetros de calidad del agua: oxígeno disuelto, demanda química de oxígeno, demanda biológica de oxígeno, plomo, y arsénico para determinar la eficiencia del adsorbente utilizando los métodos estandarizados APHA.

Se determino que la densidad de la harina de plumas de pollo para los tres tipos de granulometría es muy similar (0.103 g/mL), además flota sobre el agua e hidrocarburo mediano y no es inflamable.

Como resultado se obtiene que se puede trabajar con los tres tipos de harina (sin tamizar, gruesa y fina) utilizando 11 g por cada 25 mL de crudo que contamina 5.75 L de agua con una cinética en reposo en un tiempo de 15 minutos con una capacidad de sorción de 2.60 g hidrocarburo/g de harina de plumas de pollo. Después de la biorremediación se obtuvieron los siguientes parámetros de calidad del agua: DBO 5.69 mg/L, DQO es de 17.11 mg/L. O.D

es de 5.06 mg/L y plomo, 0.20 mg/L, cumpliendo con los límites permisibles del Reglamento Ambiental de operaciones Hidrocarburifera 1215 RAOH.

Abstract

This project offers an alternative to solve the water contamination with hydrocarbons problem, using chicken feathers like a natural absorbent. The chicken feathers had to be processed previously. This process included washing, pasteurization, drying, ground and sieving, in order to obtain chicken feathers meal, the natural absorbent. This flour had a chemical analysis (crude protein, ash, humidity) and physical analysis (bulk density, buoyancy, inflammability).

To begin, a certain volume of water was contaminated with hydrocarbons. For this, several tests were realized to know the minimum concentration of medium hydrocarbons necessary to pollute the volume of water. Then, different quantities of chicken feathers meal were measured to establish the best absorptive capacity and the time required for the contact between flour and hydrocarbons. Three facts were studied: the type of chicken feathers meal (without screening, thick and fine), kinetics of water (at rest and movement), and the time of contact (five and fifteen minutes).

Finally, after the bioremediation, some parameters were measured: dissolved oxygen, chemical oxygen demand, biological oxygen demand, lead and arsenic. This was done to determine the efficiency of the absorbent using the "APHA" standard methods.

It was determined, that the density for the three types of chicken feathers meal was similar (0.103 g/mL). Also, it floats over the water and medium hydrocarbons, and it is not flammable.

Consequently, it was proved the three types of chicken feather meal works (without screening, thick and fine), using 11g of meal per 25ml of hydrocarbons that pollutes 5.75L of water at rest, in 15 minutes with a sorption capacity of 2.60g hydrocarbon / 1g of chicken feather meal. After de bioremediation, the following parameters of water quality were obtained: DBO 5.69 mg/L, DQO 17.11 mg/L, O.D e 5.06 mg/L and lead 0.20 mg/L, obeying all allowable limits of

Environmental Regulations Hydrocarbons Operations number 1215 "RAOH"
(abbreviations in Spanish).

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|--|-----------|
| CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1 TEMA..... | 1 |
| 1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA..... | 1 |
| 1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA..... | 2 |
| 1.4 OBJETIVOS..... | 5 |
| 1.4.1 OBJETIVO GENERAL | 5 |
| 1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 5 |
| 1.5 MARCO TEÓRICO | 6 |
| 1.5.1 CONTAMINACIÓN | 6 |
| 1.5.2 FORMAS DE CONTAMINACIÓN POR LA OPERACIÓN PETROLERA..... | 10 |
| 1.5.3 TIPOS DE CONTAMINACIÓN QUE SE DAN EN EL AIRE, AGUA Y SUELO | 12 |
| 1.5.4 CONTAMINACIÓN EN EL ECUADOR..... | 24 |
| 1.5.5 REMEDIACIÓN Y BIORREMEDIACIÓN | 36 |
| 1.5.6 PRODUCCIÓN DE HARINA DE PLUMAS DE POLLO..... | 42 |
| 1.5.7 ADSORCIÓN | 43 |
| CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS..... | 45 |
| 2.1 PARTICIPANTES..... | 45 |
| 2.2 ZONA DE ESTUDIO..... | 45 |
| 2.3 PERIODO DEL INICIO DE LA INVESTIGACIÓN | 45 |

| | |
|---|------------------|
| 2.4 DISEÑO EXPERIMENTAL | 45 |
| 2.5 PROCEDIMIENTOS:..... | 46 |
| 2.5.1 PRODUCCIÓN DE HARINA DE PLUMAS DE POLLO. | 47 |
| 2.5.2 CARACTERIZACIÓN DEL HIDROCARBURO. | 49 |
| 2.5.3 DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN MÍNIMO DE PETRÓLEO PARA CONTAMINAR UN VOLUMEN DE AGUA..... | 50 |
| 2.5.4 DETERMINACIÓN DE LA MASA DE HARINA NECESARIA PARA REMEDIAR AGUAS CONTAMINADAS CON HIDROCARBURO | 51 |
| 2.5.5 DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE CONTACTO DE LA HARINA DE PLUMAS DE POLLO Y EL VOLUMEN DE PETRÓLEO..... | 52 |
| 2.6 VARIABLES DE MEDICIÓN | 53 |
| 2.6.1 DETERMINACIÓN DEL PH, TEMPERATURA, CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Y SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES EN AGUAS..... | 53 |
| 2.6.2 TEST EN CUBETAS DQO DE LA MERCK..... | 53 |
| 2.6.3 PRUEBAS DE DBO | 54 |
| 2.6.4 SÓLIDOS SUSPENDIDOS Y TURBIDEZ..... | 55 |
| 2.6.5 MÉTODO PARA ARSÉNICO | 55 |
| 2.6.6 MÉTODO PARA PLOMO..... | 56 |
| 2.6.7 DETERMINACIÓN DE HIDROCARBUROS TOTALES DE PETRÓLEO..... | 57 |
| <u>CAPÍTULO III: RESULTADOS.....</u> | <u>58</u> |
| 3.1 PRODUCCIÓN DE HARINA DE PLUMAS..... | 58 |
| 3.1.1 CONTENIDO DE HUMEDAD..... | 58 |

| | |
|--|------------------|
| 3.1.2 TAMIZADO..... | 59 |
| 3.2 CARACTERIZACIÓN DE LA HARINA DE PLUMAS DE POLLO. | 60 |
| 3.3 CARACTERIZACIÓN DEL HIDROCARBURO | 62 |
| 3.4 DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN MÍNIMO DE PETRÓLEO QUE CONTAMINA UN VOLUMEN DE AGUA..... | 63 |
| 3.5 DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SORCIÓN..... | 64 |
| 3.6 DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE CONTACTO DE LA HARINA DE PLUMAS DE POLLO Y EL HIDROCARBURO MEDIANO..... | 68 |
| 3.7 ANÁLISIS DE DATOS | 69 |
| 3.7.1 OXIGENO DISUELTO | 69 |
| N: NUMERO DE TRATAMIENTOS | 72 |
| 3.7.2 DEMANDA BIOLÓGICA DE OXIGENO (DBO) | 72 |
| 3.7.3 DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO | 75 |
| 3.7.4 CAPACIDAD DE SORCION | 78 |
| 3.7.5 ESTADÍSTICA COMPARATIVA | 82 |
| <u>CAPÍTULO IV DISCUSION</u> | <u>86</u> |
| <u>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES</u> | <u>92</u> |
| <u>CAPÍTULO VI. RECOMENDACIONES</u> | <u>94</u> |
| <u>CAPÍTULO VII. BIBLIOGRAFÍA</u> | <u>95</u> |

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|--|----|
| Cuadro 1.1 Composición química de la harina de plumas y el hidrolizado. | 41 |
| Cuadro 3.1 Análisis de varianza para el oxígeno disuelto..... | 71 |
| Cuadro 3.2 Prueba de Tukey DHS para el oxígeno disuelto. | 72 |
| Cuadro 3.3 Análisis de varianza para la demanda biológica de oxígeno (DBO). | 74 |
| Cuadro 3.4 Prueba de DHS Tukey para la DBO. | 75 |
| Cuadro 3.5 Análisis de varianza para la demanda química de oxígeno..... | 77 |
| Cuadro 3.6 Prueba de DHS Tukey para la demanda química de oxígeno..... | 78 |
| Cuadro 3.7 Análisis de varianza para la capacidad de sorción..... | 81 |
| Cuadro 3.8. Prueba de DHS Tukey para la capacidad de sorción..... | 81 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1.1 Países que contaminan el ambiente. | 7 |
| Tabla 1.2 Países dónde se han producido derrames de crudo | 8 |
| Tabla 1.3 Tipos de crudos de acuerdo a sus grados de densidad | 29 |
| Tabla 2.1 Tratamientos realizados para la evaluación de DBO, DQO, OD en aguas contaminadas con crudo mediano. | 46 |
| Tabla 3.1 Propiedades físicas de acuerdo a los tipos de pluma de pollo..... | 60 |
| Tabla 3.2 Composición química de la harina de plumas de pollo | 61 |
| Tabla 3.3 Volumen de hidrocarburos que contaminan 5.75 L de agua en reposo | 63 |
| Tabla 3.4 Volumen de hidrocarburos que contaminan 5.75 L de agua en movimiento..... | 64 |
| Tabla 3.5 Capacidad de sorción de los tipos de harina de plumas de pollo, en el hidrocarburo mediano | 64 |

| | |
|--|-----------|
| Tabla 3.6 Capacidad de sorción de los tipos de harina de plumas de pollo en el agua | 65 |
| Tabla 3.7 Tiempo de contacto de la harina sin tamizar, gruesa y fina con el hidrocarburo mediano | 68 |
| Tabla 4.1 Comparación de las propiedades físicas de los adsorbentes. | 87 |

INDICE DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1.1 Composición del Petróleo..... | 28 |
| Gráfico 1.2 Componentes de la queratina..... | 41 |
| Cuadro 3.1 Análisis de varianza para el oxígeno disuelto. | 71 |
| Cuadro 3.2 Prueba de Tukey DHS para el oxígeno disuelto..... | 72 |
| Gráfico 3.3 Capacidad de sorción de los tres tipos de harina de plumas de pollo (sin tamizar, gruesa y fina) | 65 |
| Gráfico 3.4 Tiempo de contacto de la harina sin tamizar, gruesa y fina con el hidrocarburo mediano | 68 |
| Gráficos 3.5 a y 3.5 b de perfil para la demanda química de oxígeno. | 76 |
| Gráfico 3.6 a, 3.6 b y 3.6 c de perfil para la capacidad de sorción..... | 80 |
| Gráfico 3.7 Concentración de oxígeno disuelto mg/L antes y después de cada tratamiento. | 82 |

| | |
|---|-----------|
| Gráfico 3.8 Concentración de la Demanda Química de oxígeno, en mg/L antes y después de cada tratamiento | 83 |
| Gráfico 3.9 Concentración de la demanda biológica de oxígeno, en mg/L antes y después de cada tratamiento. | 83 |
| Gráfico 3.10 Concentración de plomo mg/L antes y después de los tratamientos..... | 84 |
| Gráfico 3.11 Concentración de arsénico antes y después de los tratamientos..... | 84 |
| Gráfico 3.11 Concentración de arsénico antes y después de los tratamientos..... | 84 |
| Gráfico 3.12 Cantidad de TPH en el agua de biorremediada con harina de plumas de pollo. | 85 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1.1 Estructura de la pluma de pollo | 39 |
| Figura 1.2 Estructura de la proteína α y β queratina. | 40 |
| Figura 2.1 Secador Binder (5 a 300°C) | 48 |
| Figura 2.2 Desecador Duran Vakuumfest | 48 |
| Figura 2.3 Flotabilidad de la harina de plumas de pollo | 49 |
| Figura 2.4 Densidad de las plumas de pollo | 49 |
| Figura 2.5 Medición de la densidad API del hidrocarburo..... | 50 |
| Figura 2.6 pH metro/ conductivimetro | 53 |
| Figura 2.7 Cubetas de reacción de DQO | 54 |
| Figura. 2.8 Termoreactor Spectroquant TR 320 Merck | 54 |

| | |
|---|----|
| Figura 2.9 Lector de DQO Spectroquant Nova 60 Merck..... | 54 |
| Figura 2.10 Kit DQO..... | 54 |
| Figura 2.11 Espectrofotómetro de Absorción Atómica Perkin Elmer AAnalyst 200 | 57 |
| Figura 3.1 Harina sin tamizar | 59 |
| Figura 3.2 Harina Gruesa | 59 |
| Figura 3.3 Harina Fina | 60 |
| Figura 3.4 Adsorción de crudo utilizando 8 g de harina sin tamizar. | 66 |
| Figura 3.5 Adsorción de crudo utilizando 9 g de harina sin tamizar. | 66 |
| Figura 3.6 Adsorción de crudo utilizando 11 g de harina sin tamizar. | 66 |
| Figura 3.7 Adsorción de crudo utilizando 8 g de harina gruesa. | 66 |

| | |
|--|-----------|
| Figura 3.8 Adsorción de crudo utilizando 9 g de harina gruesa. | 66 |
| Figura 3.9 Adsorción de crudo utilizando 11 g de harina gruesa. | 66 |
| Figura 3.10 Adsorción de crudo utilizando 8 g, de harina fina- | 67 |
| Figura 3.11 Adsorción de crudo utilizando 9 g, de harina fina. | 67 |
| Figura 3.12 Adsorción de crudo utilizando 11 g, de harina fina. | 67 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|--|---|
| ANEXOS A. Normas y Leyes usadas para evaluar la contaminación del agua en el Ecuador. | I |
| ANEXO B. Modelos estadísticos utilizados en el presente estudio..... | I |
| ANEXO C. Técnicas e Informes de Laboratorios. | I |
| ANEXO D. Recopilación de Datos | I |
| ANEXO E: Datos de la corrección °API | I |
| ANEXO F: Construcción del agitador | I |
| ANEXO G Análisis y diseños estadístico utilizados en el presente estudio | I |

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Tema

PRODUCCIÓN DE HARINA DE PLUMAS DE POLLO Y SU UTILIZACIÓN COMO UN ADSORBENTE DE HIDROCARBUROS, EN AGUA DULCE.

1.2 Formulación del Problema

Los hidrocarburos han constituido a lo largo de los 30 últimos años una de las principales fuentes de ingresos del Ecuador. Las comunidades indígenas del Oriente han recibido beneficios como empleo, alimentación y dinero para obras de infraestructura; sin embargo, los beneficios no son suficientes ante la necesidad de preservar la flora, la fauna y la vida cotidiana de los pobladores que habitan en zonas de explotación.

A lo largo del tiempo se conoce que los derrames de petróleo, han causado impactos ambientales como son la destrucción del bosque primario, atentados graves contra la flora y fauna, reducción de los huertos, sembríos y contaminación del agua y de los suelos. Es por esta razón que nace la necesidad de encontrar nuevas técnicas de biorremediación para tratar de solucionar estos problemas.

Las plumas de pollo generan contaminación al ser depositadas libremente en el ambiente, se pretende eliminar esta fuente de contaminación, dándole un uso apropiado. El presente proyecto plantea la elaboración de un adsorbente a base de harina de plumas de pollo, para tratar de remover hidrocarburos existentes en cuerpos de agua dulce.

1.3 Justificación del problema

Los derrames de petróleo, tienen intranquilos a los campesinos de tres comunidades de la parroquia Dureno (Sucumbíos). Daniel Valladolid, presidente de la asociación de campesinos Sol Naciente, reportó que solo en este sector se contaminaron cuatro vertientes de agua y más de 10 hectáreas de suelos. Un descontento similar se siente en el sector Flor de Los Ríos. Lauro Ayabaca denunció que en esta zona los derrames y las piscinas de petróleo perjudicaron a 35 familias. Los principales efectos se sintieron en las fuentes de agua y en los cultivos, en un estimado de 12 hectáreas (Diario El Comercio 26 de agosto, 2008).

La empresa Occidental, fue reemplazada por Pluspetrol, que vierte diariamente a los ríos de la cuenca del Corrientes, miles de litro de agua de producción petrolera con alta salinidad compuesto por hidrocarburos, cloruros y metales pesados que pueden producir alteraciones genéticas y cáncer, sostiene Pisango. Las aguas contaminan las cochas y lagos de los cuales unos 7.800 indígenas se abastecen de pescado, y han terminado convertidas en negruzcos charcos donde la vida animal ha desaparecido. Las enfermedades, como paludismo entre otras, se han expandido y los Achuar atribuyen a la contaminación. La toxicidad de esas aguas, ha sido confirmada por el Ministerio de Salud Pública, señalaron ambos dirigentes (Diario El Comercio 9 de Agosto del 2006).

La formación de una película impermeable sobre el agua en las zonas de derrame afecta rápida y directamente a las aves y a los mamíferos acuáticos ya que obstruye el intercambio gaseoso y desvía los rayos luminosos que aprovecha el fitoplancton para llevar a cabo el proceso de fotosíntesis.

La contaminación de los ríos se da por la actividad petrolera en la Amazonía o en las zonas por donde atraviesa el Oleoducto Transecuatoriano; y, por la

evacuación de desechos domésticos e industriales en otros lugares del territorio nacional.

Las plumas de pollos son desechos de las industrias avícolas que generan contaminación al depositarlos en quebradas, terrenos abandonados y ríos, lo cual se debe evitar ya que estos desechos se podrían utilizar para producir harina de plumas de pollos ya sea hidrolizados para producir balanceados; o, no hidrolizados para remover metales pesados, arsénico, cromo e hidrocarburos.

En el proceso de faena de las aves se generan importantes cantidades de residuos: sangre, vísceras, cabezas, patas y plumas. En Uruguay las plumas no tienen utilización con fines de alimentación animal, existiendo una normativa que establece que las mismas deben ser retiradas de los mataderos y enterradas. De acuerdo con Velázquez (1994) las plumas representan el 18.5% de los residuos obtenidos lo que permite estimar, a partir de la información de faena de aves del año 2006 (OPYPA, 2007) una disponibilidad anual de 2 500 toneladas de plumas (Bauza. et al., 2007).

Según la CONAVE, los países de mayor producción de pollo parrillero (broilers) son: EE.UU., China y Brasil, con 14505 mil TM, 9844 mil TM, 7700 mil TM, respectivamente, seguidos de la Unión Europea. Ecuador no es productor significativo, pero se estima en 250 miles de TM, en lo que se refiere al año 2003, sin embargo su producción ha tenido un crecimiento acelerado de 42% en referencia al año 2002. (Armijos, 2009)

En el Ecuador no existen registros actuales acerca de la magnitud de desperdicios que generan las industrias avícolas, según datos hasta el 2003

mencionados por Armijos (2009); garantiza la consecución de la materia prima en forma suficiente, debido a la gran cantidad de producción nacional.

Coello, menciona:

El aumento sostenido en el procesamiento de las aves de corral a nivel industrial ha planteado el problema de la ubicación de los desechos producto de su beneficio, en resguardo de la calidad del medio ambiente. En Venezuela existen 54 plantas industriales de aves de corral las cuales, en el año 1995 generaron como subproducto aproximadamente 30.000 TM de plumas. En la búsqueda de una solución a este problema, la industria avícola ha realizado esfuerzos para utilizar dichos subproductos (plumas, vísceras, patas y cabezas) en la obtención de insumos de mayor valor agregado. (Federación Nacional de Avicultura, 1996, pág. 55).

Por muchos años, las plumas han sido de Interés en estudios nutricionales, dado que el 95% de su peso seco es proteína, de la que un 88% es queratina (Harrap B. 1964).

La queratina, presente también en pelos, uñas y cuernos, es una proteína fibrosa insoluble que en su estado nativo es muy resistente al tratamiento con enzimas proteolíticas, tales como tripsina, pepsina y papaína. Ello se debe al alto grado de enlaces disulfuro de la cisteína, enlaces de hidrógeno e Interacciones hidrofóbicas dentro de la molécula de queratina, que la hacen poco digestible cuando se suministra como fuente proteica en la dieta de animales (Xiang, L. et al., 1992).

En el Ecuador existen residuos avícolas que tienen poca o ninguna aplicación, y se reutilizan muy poco en la formulación de alimentos para aves, por lo que es difícil encontrar empresas que aprovechen el uso potencial de la queratina

de plumas de pollos y constituye una innovación para las industrias avícolas ecuatorianas las cuales dejarían de contaminar con los residuos de plumas de pollos y adquirirían beneficios económicos adicionales; el beneficio se daría igualmente, en las industrias petroleras usando esta materia orgánica, como un posible adsorbente natural de crudo.

El presente proyecto, estudiará como producir harina de plumas de pollos y utilizarla como un medio adsorbente de hidrocarburos en agua dulce a nivel de laboratorio, lo cual podría traer beneficios en un futuro para los propietarios de plantas avícolas.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Producir Harina de Plumas de Pollos y utilizarla como un medio adsorbente de hidrocarburos en agua dulce a nivel de laboratorio.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Acondicionar los residuos de plumas de pollos generados por las avícolas para producir harina de tres tamaños de partículas.
- Realizar pruebas de la composición química y propiedades físicas (densidad, flotabilidad, flamabilidad) de la harina de plumas.
- Analizar muestras de aguas contaminadas con hidrocarburo mediano.

- Dosificar la cantidad de harina de plumas de pollos como un medio adsorbente de hidrocarburo mediano, en aguas contaminadas.
- Analizar el agua recuperada considerando algunos parámetros de calidad del agua como son: DBO, DQO, O.D y metales pesados plomo y arsénico a fin de determinar la eficacia del adsorbente.

1.5 Marco Teórico

1.5.1 Contaminación

La contaminación ambiental constituye uno de los problemas más críticos en el mundo por lo que es importante tratar los temas relacionados con los agentes contaminantes, su origen, gestión y posibles soluciones.

La contaminación ambiental es la presencia de agentes físicos, químicos o biológicos o la combinación de ellos en lugares que pueden ser nocivos para la salud, la seguridad, para el bienestar de la población o que pueden ser perjudiciales para la vida vegetal o animal.

Contaminante es todo elemento, compuesto, sustancia, derivado químico o biológico, energía, radiación, vibración, ruido, cuya presencia en el ambiente, en ciertos niveles, concentraciones o períodos de tiempo, pueda constituir un riesgo a la salud de las personas, a la calidad de vida de la población, a la preservación de la naturaleza o a la conservación del patrimonio ambiental.

El control ambiental es la vigilancia, inspección y aplicación de medidas para mantener o recuperar características ambientales apropiadas para la conservación y mejoramiento de los seres naturales y sociales.

El aire, el agua y el suelo, constituyen los medios donde se vierten los residuos generados por el hombre. Dichos residuos participan en los complejos procesos físicos, químicos y biológicos que tienen lugar en el medio natural, sufriendo transformaciones y, en muchos casos, alterando el funcionamiento de los ecosistemas. A su vez, los contaminantes pueden afectar la salud humana ingresando al organismo, a través de las vías respiratorias y del sistema digestivo, o de la piel.

La contaminación del ambiente constituye uno de los problemas más críticos en el mundo, esto se debe varios factores como el crecimiento poblacional, la tala indiscriminada de bosques y la industrialización en países desarrollados como se puede observar en la tabla 1.1; produciendo contaminación en el aire, agua y suelo afectando a la flora, fauna y a la salud de las personas.

Tabla 1.1 Países que contaminan el ambiente.

| Países | Emisiones Anuales en Toneladas | % Total |
|---------------|---------------------------------------|----------------|
| EE.UU | 6.049.435 | 22,20% |
| China | 5.010.170 | 18,40% |
| UE | 3.115.125 | 11,40% |
| Rusia | 1.524.993 | 5,60% |
| India | 1.342.962 | 4,90% |
| Japón | 1.257.963 | 4,60% |
| Alemania | 808.767 | 3% |
| Canadá | 639.403 | 2,30% |
| Reino | 587.261 | 2,20% |

| Países | Emisiones Anuales en Toneladas | % Total |
|---------------|---------------------------------------|----------------|
| Unido | | |
| Corea del sur | 465.643 | 1,70% |
| Italia | 449.948 | 1,70% |
| Mundo | 27.245.758 | 100% |

Fuente: CDIAC para la ONU, 2004.

A lo largo de la historia han ocurrido grandes catástrofes que han producido el derrame de miles de toneladas de crudo al medio acuático, en diferentes países del mundo como se puede observar en la tabla 1.2.

Tabla 1.2 Países dónde se han producido derrames de crudo.

| Fecha | Nombre | Lugar | Causa | Toneladas |
|--------------|------------------|---------------------------------|----------------|-------------------------|
| 06/12/1985 | Nova | Golfo Pérsico-Irán | Petrolero | 81.000 |
| 22/04/1988 | Athenian Venture | Canadá-Océano Atlántico | Petrolero | 40.100 |
| 22/04/1988 | --- | Bahía de Campeche-México | Petrolero | 40.100 |
| 10/11/1988 | Odyssey | Atlántico Norte-Canadá | Petrolero | 163.000 |
| 24/03/1989 | Exxon Valdez | Alaska-EE.UU. | Petrolero | 41.600 |
| 19/12/1989 | Kharg 5 | 185 km de la costa de Marruecos | Petrolero | 70.000 |
| 08/06/1990 | Mega Borg | Galveston-Texas | Petrolero | 20,5 millones de litros |
| 26/01/1991 | Guerra del Golfo | Kuwait-Golfo Pérsico | Guerra | 908.000 |
| 26/01/1991 | Fergana Valley | Uzbekistan | Pozo petrolero | 303.000 |
| 11/04/1991 | Haven | Puerto de Génova-Mediterráneo | Petrolero | 159.000 |

| Fecha | Nombre | Lugar | Causa | Toneladas |
|--------------|---------------------------|---------------------------------|--------------|------------------|
| 28/05/1991 | ABT Summer | Angola-Océano Atlántico | Petrolero | 57.000 |
| 26/04/1992 | Katina P | 180 km este de Durban-Sudáfrica | Petrolero | 57.000 |
| 03/12/1992 | Mar Egeo (Aegean Sea) | A Coruña-España | Petrolero | 83.000 |
| 05/06/1993 | Braer | Garth Ness-Escocia | Petrolero | 94.000 |
| 18/08/1993 | Submarino-Petrolero | Golfo de Fos-sur-Mer | Colisión | 2.800.000 |
| 21/10/1994 | Thanassis A | Hong Kong-Mar de China | Buque tanque | 41.200 |
| 25/10/1994 | Kharayaga-Usinsk | Rusia-Usinsk | Oleoducto | 116.000 |
| 09/11/1994 | Yoyo Maru N°10 | Bahía de Toledo-Japón | Petrolero | 59.800 |
| 15/02/1996 | Sea Empress | Mill Bay-Reino Unido | Petrolero | 80.000 |
| 12/12/1999 | Erika | Costas de la Bretaña francesa | Petrolero | 10.000 |
| 29/12/1999 | Petrolero de bandera rusa | Costas de Estambul | Petrolero | 4.000 |
| 16/01/2001 | Jessica | Islas Galápagos | Petrolero | 600.000 Litros |

FUENTE:<http://www.miliarium.com/Monografias/MareasNegras/Catastrofes.asp>

En el Ecuador también existe derrames de crudo como se puede apreciar en la tabla 1.2, que van a contaminar los mares, ríos, lagos, etc.; por ello el presente trabajo se va enfocar a la contaminación por hidrocarburos en el agua.

Desde el inicio de la actividad petrolera, el entorno en el que se desarrolla, se ve afectado por numerosas intervenciones que dañan severamente el medio ambiente. Las huellas más evidentes que se encuentran en todo el planeta donde se ha dado extracción de petróleo, frecuentemente han sido ocasionadas por accidentes en tanques de almacenamiento o en oleoductos.

Sin embargo los accidentes que son los acontecimientos más notorios no son las únicas fuentes de contaminación o degradación del medio, ni siquiera las más importantes. Todas las actividades que están envueltas en la exploración y explotación del petróleo provocan impactos potencialmente negativos sobre el medio ambiente y sobre las personas que lo usan o que están en contacto con él. Gran parte de los ecosistemas afectados por la exploración y explotación de hidrocarburos cuentan con formas de vida muy diversas y complejas. A pesar de este hecho, la expansión petrolera muy a menudo se enfoca en dichos ecosistemas.

1.5.2 Formas de contaminación por la operación Petrolera

La mayoría de las actividades que se realizan en una operación petrolera, van a provocar impactos negativos y polución sobre el ambiente, dentro de ellas podemos mencionar las siguientes:

La operación sísmica. Es una de las más utilizadas en la etapa de exploración, y consiste en la medición de las ondas de resonancia que produce la detonación de cargas de dinamita. Esto significa que la zona explorada queda completamente llena de agujeros dinamitados. Al encontrarse el lugar donde probablemente se puede dar la explotación del mineral, se procede a abrir los pozos exploratorios.

La fase exploración. Durante este proceso son utilizados lodos químicos, los cuales son altamente contaminantes, se utiliza agua para enfriar los taladros, para que exista una mejor penetración en el terreno, también se construyen piscinas para depositar las aguas ácidas y los lodos contaminados que salen junto con el petróleo. Esta fase altera el equilibrio natural, ya que requiere de grandes cantidades de agua del lugar y aumenta los niveles de contaminación.

También en las perforaciones se producen lodos con metales pesados y tóxicos como cadmio, cobre, arsénico, mercurio y plomo.

La fase de extracción. Comienza cuando alguno de los pozos exploratorios toca un yacimiento. En tierra o en mar las operaciones a realizarse en esta etapa alteran el ambiente natural y lo contaminan. Esta etapa presenta riesgos adicionales de accidentes, relacionados con gases tóxicos, aguas ácidas y los depósitos de crudo.

El transporte. Se da después de la extracción del crudo. El transporte del crudo es una de las etapas más riesgosas y costosas en términos de destrucción ambiental. Desde que se transporta el crudo masivamente, son millones de barriles que se han derramado en zonas selváticas, ríos, lagos y mares. Las consecuencias de tales derrames continúan afectando estos ecosistemas muchos años después.

Dentro de las etapas de exploración y explotación también se da una compactación de los suelos por la maquinaria pesada donde por la pérdida de vegetación, se produce una erosión y contaminación de los suelos de la zona. Los microorganismos del agua y suelo son alterados por la contaminación con hidrocarburos, desapareciendo o disminuyendo las especies menos resistentes sin dejar atrás las altas tasas de mutaciones.

1.5.3 Tipos de Contaminación que se dan en el aire, agua y suelo

Existen diversas clasificaciones de la contaminación, pero sólo mencionaremos las dos principales:

Por su origen se clasifica en dos tipos:

Contaminación natural: es la que se debe a fenómenos naturales como la erosión y las erupciones volcánicas y está relacionada con la composición de suelos, aguas y los componentes de algunos alimentos pero que no es tan grave como la antropogénica.

Contaminación antropogénica: es la que es generada por las actividades que realiza el hombre como son las industrias, mineras, agropecuarias, artesanales y domésticas y es más grave por su naturaleza y la gran variedad de contaminantes que genera.

Por el tipo de contaminante que se genera se clasifica en:

Contaminación biológica: se presenta cuando un microorganismo (bacteria, hongo o virus) se encuentran en un ambiente que no le corresponde y causa daños a los demás organismos que lo habitan. Con frecuencia es provocada por las deficiencias de los servicios de saneamiento como drenajes y alcantarillado, abastecimiento de agua potable, sistemas de tratamiento de aguas negras o por malos hábitos higiénicos. Sin embargo es relativamente fácil de prevenir y controlar, ya que si se llevan a cabo las medidas de recolección oportuna y adecuada de la basura, su confinamiento en lugares acondicionados para tal fin y campañas de educación para la salud se podrá prevenir muchas de las enfermedades debidas a esta fuente de contaminación (Arellano, 2002).

Contaminación física: es la provocada por agentes físicos como las radiaciones ionizantes, energía nuclear, ruido, presiones extremas, calor y vibraciones. Se presenta tanto en ambientes cerrados (laborales), como en abiertos donde provocan daños a la población en general. Una característica de este tipo de contaminación es que en ocasiones sus efectos pueden presentarse a largo plazo; por ejemplo, en el caso del ruido, sí una persona está expuesta a este agente de manera permanente y prolongada, presentará problemas en su sistema auditivo como sordera; y también puede existir daños a la flora y fauna como mal formaciones genéticas en especies acuáticas y también puede producir inhibición de la mitosis celular. (Arellano, 2002).

Contaminación química: es provocada por diferentes sustancias de uso industrial y doméstico que se encuentran dispersas en el ambiente. Se considera como la más grave de las tres, pues dichas sustancias suelen encontrarse en los tres estados de la materia (sólido, líquido y gaseoso) y por lo tanto quedar depositadas en el agua, suelo y aire y por esta razón entra más fácilmente en los organismos vivos. También pueden incorporarse de manera fácil a los ciclos bioquímicos, provocando daños severos en el ambiente, ejemplo mercurio, plomo, arsénico (Arellano, 2002).

1.5.3.1 Contaminación del agua.

El agua, tal como se presenta en la naturaleza, no es una sustancia químicamente pura, ya que debido a su gran poder de disolución y a su capacidad de transporte contiene una cantidad variable de otras sustancias en suspensión o en solución coloidal, de ahí que resulte difícil definir la contaminación del agua y determinar su grado si no se conocen las características físicas, químicas y biológicas de una determinada agua con carácter previo a que se produzca dicha contaminación.

En ausencia de contaminación, el agua lluvia es ligeramente ácida y las masas de agua continentales y marinas tienen concentraciones muy bajas (trazas) de muchos metales. Por este motivo, cuando se habla de contaminación, se quiere indicar la desviación respecto al estado normal, no respecto al estado puro.

1.5.3.1.1 Fuentes de contaminación del agua

Debido a los diferentes tipos de contaminantes, las fuentes de contaminación del agua se clasifican en nueve categorías:

- 1) Residuos con requerimientos de oxígeno, tanto químicos (procedentes de procesos industriales) como orgánicos (a partir de núcleos de poblaciones y de instalaciones ganaderas e industriales).
- 2) Agentes patógenos, procedentes de las actividades ganaderas y de las aguas residuales urbanas no tratadas.
- 3) Nutrientes vegetales, procedentes de actividades humanas (residuos domésticos, tierras de cultivo, explotaciones ganaderas).
- 4) Compuestos orgánico sintéticos que proceden tanto de vertidos de tipo urbano como de desechos industriales (plásticos, fibras, disolventes, detergentes, pinturas, aditivos, plaguicidas y productos farmacéuticos).
- 5) Petróleo procedente de vertidos de pozos de extracción, procesos de refinación y limpieza de barcos petroleros fuentes industriales y de automóviles (aceites lubricantes, disolventes, refrigerantes).

- 6) Sustancias químicas inorgánicas y minerales, en las que se incluyen las sales orgánicas, los ácidos minerales y los metales pesados o compuestos metálicos. La fuente de estas sustancias son: drenajes de minas, lluvia ácida efluentes industriales, aguas de riego, sales empleadas en las carreteras para quitar el hielo.

- 7) Sedimentos, procedentes sobre todo de las actividades mineras, agrarias y de construcción.

- 8) Sustancias radiactivas, procedentes de las minas, de su procesado y de su utilización, tanto en armamento militar, centrales nucleares y la medicina.

- 9) Calor, procedente de los circuitos de refrigeración de muchas instalaciones industriales y de centrales térmicas y nucleares.

1.5.3.2 Parámetros Indicadores de La Contaminación del Agua

Dentro del complejo problema de la contaminación de los sistemas acuáticos, los parámetros que más interesa conocer, para determinar la calidad del agua, van a depender del uso que se vaya a dar a esa agua. No obstante, puede considerarse que, en general, interesa conocer los siguientes: color, turbidez, temperatura, valores de pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, demanda química de oxígeno (DQO), demanda biológica de oxígeno (DBO₅), carbono orgánico total (CO₂), compuestos de nitrógeno y fósforo, salinidad del agua y grado de dureza, metales pesados, sólidos totales, sólidos disueltos y coloidales, sólidos en suspensión, organismos patógenos (bacterias coliformes fecales) y toxicidad en general. A continuación se describen ciertos parámetros que van hacer medidos en la presente investigación.

Color

El color es la capacidad de absorber ciertas radiaciones del espectro visible. El color en aguas residuales industriales puede indicar el origen de la contaminación, así como el buen estado o deterioro de los procesos de tratamientos. Entre los residuos industriales de color fuerte se tienen los de las industrias colorantes de textiles y los de pulpa de papel. Según el origen del color los principales tratamientos de eliminación pueden ser la coagulación y filtración, la cloración, o la adsorción en carbón (Rigola, 1999).

Turbidez

La turbidez, constituye una medida óptica del material suspendido en el agua. Las aguas residuales crudas son, en general turbias; en aguas residuales tratadas puede ser un factor importante de control de calidad. Se puede medir mediante un turbidímetro y se mide en unidad de formacina (FTU) (Rigola, 1999). La turbidez se elimina mediante procesos de coagulación, decantación y filtración.

Temperatura

La temperatura es una variable física que influye notablemente en la calidad del agua. Afecta a parámetros o características tales como la solubilidad de gases y sales, la cinética de las reacciones químicas y bioquímicas, desplazamientos de los equilibrios químicos, tensión superficial. La influencia más interesante va a ser la disminución de la solubilidad del oxígeno al aumentar la temperatura y la aceleración de los procesos de putrefacción (Orozco, et al., 2003). La temperatura afecta a la fauna y flora acuática.

pH

El pH del agua, indica el comportamiento ácido o básico de la misma es una propiedad de carácter químico de vital importancia para el desarrollo de la vida acuática. Influye sobre determinados procesos químicos y biológicos, la naturaleza de las especies iónicas que se encuentran en su seno, el potencial rédox del agua, el poder desinfectante del cloro, etc. Es un buen parámetro de carácter general para determinar la calidad del agua (Orozco, et al., 2003).

La mayoría de aguas naturales tiene un pH entre 6,5 y 8,5. Los océanos tienen un valor medio de 8. Su medición se realiza fácilmente con un pH metro bien calibrado, aunque también se puede disponer de papeles esenciales que por coloración, indican el pH. Los valores del pH han de ser referidos a la temperatura de medición, pues varían con ella. El pH se corrige por neutralización (Rigola, 2003).

Conductividad Eléctrica

Es la medida de la capacidad del agua para conducir electricidad. Es indicativa de la materia ionizable total presente en el agua. El agua pura contribuye mínimamente a la conductividad, y en su casi totalidad es el resultado del movimiento de los iones de las impurezas presentes (Rigola, 2003). La medida de la conductividad es una buena forma del control de un agua, siempre que:

- No se trate de contaminación orgánica por sustancias no ionizables.
- Las mediciones se realizarán a la misma temperatura.
- La composición del agua se mantenga relativamente constante.

La unidad estándar de resistencia eléctrica es el ohm y la resistividad de las aguas se expresa convenientemente en megaohms – centímetro. La

conductividad se expresa en el valor recíproco, normalmente como micro siemens por centímetro. Para el agua ultra pura los valores respectivos son de 18,24 Mohms cm y 0,05483 $\mu\text{s}/\text{cm}$ a 25°C.

Oxígeno Disuelto

La cantidad de O₂ disuelto en el agua es un indicador importante de su calidad. El agua saturada con aire a 1atm y 20°C contiene alrededor de 9ppm de O₂. El oxígeno es necesario para los peces y para la mayoría de los seres vivos acuáticos. Los peces de agua fría requieren alrededor de 5ppm de oxígeno disuelto para poder sobrevivir. Las bacterias aeróbicas consumen el oxígeno disuelto a fin de oxidar sustancias orgánicas y satisfacer así sus requerimientos de energía. Las sustancias orgánicas que pueden oxidar las bacterias se dicen que son **biodegradables**. Esta oxidación ocurre mediante un conjunto complejo de reacciones químicas y el material orgánico desaparece gradualmente (Brown, et al., 2004).

La existencia de una cantidad excesiva de sustancias orgánicas biodegradables en el agua es dañina, debido a que agotan el oxígeno necesario para la vida vegetal y animal normal. Más aún, estos materiales biodegradables se llaman desperdicios que demandan oxígeno. Algunas fuentes comunes de desperdicio que demandan oxígeno incluyen la basura, desperdicios industriales de las plantas procesadoras de alimentos.

En presencia de oxígeno, el carbono, hidrógeno, nitrógeno, azufre, y fósforo de las sustancias biodegradables se transforman en CO₂, HCO₃⁻, H₂O, NO₃⁻, SO₄²⁻, y fosfatos. Estas reacciones de oxidación reducen la cantidad de oxígeno disuelto hasta el punto que las bacterias aerobias ya no pueden sobrevivir. Las bacterias anaerobias se encargan entonces del proceso de descomposición, formando CH₄, NH₃, H₂S, PH₃ y otros productos que

contribuyen a los olores desagradables de aguas contaminadas (Brown, et al., 2004).

La Ley de Henry indica que la solubilidad de un gas depende de la presión y varía con la temperatura; para que un agua se considere poco contaminada la concentración de oxígeno debe ser al menos superior al 50% del valor de saturación a esa presión y temperatura. Las fuentes de oxígeno del agua son la disolución del oxígeno atmosférico, la fotosíntesis y la re aireación por agitación (Orozco, et al., 2003).

Demanda Biológica de Oxígeno

La Demanda bioquímica de oxígeno es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar (estabilizar) la materia orgánica biodegradable en condiciones aerobias. Cuando se refiere a la DBO necesaria para oxidar todo el material orgánica carbonácea biodegradable, se denomina demanda bioquímica última de oxígeno carbonácea (DBOUC). En condiciones normales de laboratorio, esta demanda se cuantifica a 20°C, el ensayo estándar se realiza a cinco días de incubación y se conoce convencionalmente como DBO5, con valores numéricos expresados en mg / L – O₂ (Romero, 1999).

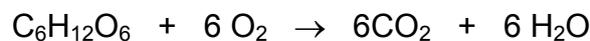
La DBO es el parámetro más usado para medir la calidad de aguas residuales y superficiales, para determinar la cantidad de oxígeno requerido para estabilizar biológicamente la materia orgánica del agua, para diseñar unidades de tratamiento biológico, para evaluar la eficiencia de los procesos de tratamiento y para fijar las cargas orgánicas permisibles en fuentes receptoras (Romero, 1999).

Demanda Química de Oxígeno

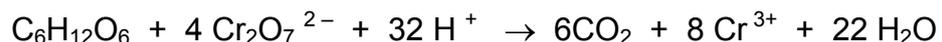
DQO es una sigla que traduce literalmente “Demanda Química de Oxígeno”, desde el punto de vista ambiental, es una medida aproximada del contenido total de materia orgánica presente en una muestra de agua.

Esta materia orgánica en condiciones naturales puede ser biodegradada lentamente (esto es oxidada) a CO₂ y H₂O mediante un proceso lento que puede tardar, desde unos pocos días hasta unos cuantos millones de años, dependiendo del tipo de materia orgánica presente y de las condiciones de la biodegradación.

En las pruebas de DQO es acelerada artificialmente el proceso de biodegradación que realizan los microorganismos, mediante un proceso de oxidación forzada, utilizando oxidantes químicos (dicromato de potasio o el permanganato de potasio) en medio ácido. Es una oxidación rápida y da una idea cuantitativa de la cantidad de sustancias susceptibles de oxidación que existen en el agua, inorgánicas u orgánicas. El resultado se expresa en mg O₂/L representando la cantidad de oxígeno equivalente al oxidante químico utilizado en la determinación (Orozco, et al., 2003). Donde, la degradación biológica de un carbohidrato, en condiciones aeróbicas puede expresarse como:



Mientras que la degradación química de esta misma sustancia (acelerada con dicromato de potasio y medida bajo la forma de DQO) puede expresarse como:



La relación entre DBO₅ y la DQO, nos da una idea de la naturaleza de los contaminantes orgánicos existentes en el agua:

$\frac{DBO_5}{DQO} < 0,2$ Indican la presencia predominante de contaminantes de naturaleza orgánica no biodegradable.

$\frac{DBO_5}{DQO} > 0,6$ Señalan la presencia predominante de contaminación orgánica de naturaleza degradable.

La DQO de las aguas superficiales destinadas abastecimientos debe ser menor a 30 mg/L. En las aguas potables, el límite tolerable de DQO es 5 ppm de O₂. Cuando el oxidante utilizado es el permanganato de potasio el parámetro se denomina oxidabilidad al permanganato (puede hacerse la determinación en frío o caliente). Se emplea en agua potable y naturales, mientras que en aguas residuales se utiliza la DQO al dicromato. (Orozco, et al., 2003).

Sólidos Suspendidos

Los sólidos en suspensión, SS, es una medida de sedimentables (no disueltos) que pueden ser retenidos en un filtro. Se puede determinar pesando el residuo que queda en el filtro, después de secado. Son indeseables en las aguas de proceso porque pueden causar depósitos en las conducciones, calderas, equipos, etc. Las aguas subterráneas suelen tener menos de 1 ppm, pero en las superficiales varía mucho en función del origen y las circunstancias de la captación. Se pueden separar por filtración y decantación.

Una cantidad excesiva de sólidos suspendidos puede ser peligrosa para los peces y para otras formas de vida acuática por obstrucción de los órganos respiratorios (branquias), recubrimiento de microorganismos en el fondo del acuífero, reducción de la intensidad de la radiación luminosa y modificación de las cadenas alimentarias (Ramos, et. al., 2003).

Sólidos Totales Disueltos

Los sólidos disueltos en aguas naturales, representados por la sigla internacional "TDS", están constituidos por las sales minerales que el agua disuelve cuando contacta los minerales de la corteza terrestre. Debido a que estos "sólidos disueltos" incrementan la capacidad del agua para conducir una corriente eléctrica y al hecho de que ésta propiedad pueda medirse con mayor facilidad y rapidez que la determinación gravimétrica directa de los TDS, frecuentemente se toma la conductividad eléctrica del agua como una medida indirecta de su contenido en sólidos disueltos. Sin embargo, se debe tener presente que esta hipótesis es aproximadamente válida sólo para aguas naturales, ya que en aguas residuales los TDS pueden estar asociados también a materia orgánica en solución.

Arsénico

El arsénico es un metal pesado, que se encuentra en la naturaleza. La exposición a arsénico es natural pero puede ser agravada debido a diversas actividades humanas. Estamos expuestos al arsénico en dos formas químicas: inorgánico que tiene alta toxicidad (aguas subterráneas, aguas de minería, industrias) y orgánica de baja toxicidad (animales, plantas, peces y mariscos)

En pequeñas cantidades como 100 mg puede ocasionar un grave envenenamiento; además pueden aparecer efectos crónicos por su acumulación en el cuerpo por repetidos niveles bajos de ingesta. Tiene propiedades cancerígenas. La concentración de arsénico en la mayoría de las aguas potables raramente excede los 10 µg/L aunque han sido registrados valores del orden de los 100 µg/L. El arsénico puede encontrarse en el agua como resultado de una disolución de minerales, descargas industriales o aplicación de insecticidas. Se utiliza el Método espectrométrico de absorción atómica para medir la concentración de arsénico en el agua (APHA, 1992)

Plomo

El plomo es un metal pesado que se acumula en el organismo y es un veneno importante. Las aguas naturales rara vez contienen por encima de los 5 µg.L-1, aunque se han informado sobre valores mucho más altos. El plomo de un suministro de agua puede ser de origen industrial, minero y de descarga de hornos de fundición o de cañerías viejas de plomo. Las aguas de grifo blandas y ácidas que no reciben un tratamiento adecuado contienen plomo como resultado de la corrosión de las tuberías de servicio. Se utiliza el Método espectrométrico de absorción atómica para medir la concentración de plomo en el agua (APHA, 1992).

Hidrocarburos Totales de petróleo (TPH)

Los términos hidrocarburos totales de petróleo (TPH, en inglés), se usan para describir una gran familia de compuestos químicos originados de petróleo crudo. Los TPH son una mezcla de productos químicos compuestos principalmente de hidrogeno y carbono, llamados hidrocarburos. Se ha dividido los TPH en grupos de hidrocarburos de petróleo que se comportan en forma similar en el suelo o el agua. Estos grupos se llaman fracciones de hidrocarburo de petróleo. Cada fracción contiene muchos productos químicos individuales. Algunas sustancias químicas que pueden encontrarse en los TPH incluyen a hexano, combustibles de aviones de reacción, aceites minerales, benceno, tolueno, xilenos, naftalina y fluoreno, como también otros productos de petróleo y componentes de gasolina.

Los TPH se pueden encontrar en el ambiente:

- a. Los TPH pueden entrar al ambiente a raíz de accidentes, deliberaciones industriales, o como subproductos de uso comercial o privado.
- b. Los TPH puede ser liberados directamente al agua por escapes o derrames.

- c. Ciertas fracciones de los TPH flotarán en el agua y formarán una capa superficial.
- d. Otras fracciones de los TPH se depositarán en los sedimentos del fondo.
- e. Bacterias y microorganismos en el agua pueden degradar ciertas fracciones de los TPH.
- f. Ciertas fracciones de los TPH se adherirán a partículas en el suelo donde pueden permanecer por largo tiempo.

Se puede estar expuesto a los TPH de muchas fuentes como: respirando aire en gasolineras, usando productos químicos en el hogar o el trabajo, usando ciertos pesticidas; tomando agua contaminada con TPH; trabajando en ocupaciones que usan productos de petróleo; viviendo en un área cerca de un derrame o escape de TPH; tocando tierra contaminada con los TPH, entre otros. Según Métodos Normalizados Para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, se puede medir la cantidad de TPH mediante el Método Infrarrojo EPA 418.1 o mediante el Método de partición Gravimétrico 5-35 APHA 5520B modificado.

1.5.4 Contaminación en el Ecuador

Desde la década de los sesenta, el tema del medio ambiente y su deterioro se destaca entre los problemas que afectan a las sociedades contemporáneas, por las alteraciones producidas en los ecosistemas originarios y sus efectos negativos sobre la población.

Los gobiernos anteriores no han tomado las medidas adecuadas para garantizar un desarrollo sustentable y armónico desde el punto de vista ambiental y de la calidad de vida. El Estado y las industrias privadas (petrolera,

minera, textil, cementeras, plásticos, avícolas etc.) no han asignado los recursos naturales de acuerdo a su verdadero valor social, lo que ha generado la tendencia a su sobre utilización y un proceso acelerado de deterioro al ambiente. El Estado ecuatoriano se ha preocupado por la contaminación existente en el país, creando en los últimos años una legislación Ambiental para estimular el cambio de conducta de los actores económicos y garantizar la eficiencia y la eficacia de las medidas de protección ambiental.

1.5.4.1 Ley de Contaminación en el Ecuador

La Constitución 2008 del Ecuador, en el capítulo segundo, Derechos del buen vivir, sección primera agua y alimentación, en su artículo 12 expresa que el derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable, el agua constituye el patrimonio nacional estratégico de uso público inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida. El artículo 13 señala que las personas y colectividades tienen derecho al acceso seguro y permanente a alimentos sanos, suficientes y nutritivos; preferentemente producidos a nivel local y en correspondencia con sus diversas identidades y tradiciones culturales.

La “Ley de Prevención y Control de la Contaminación” (Decreto Supremo N° 374) en sus considerandos expresa que es deber del estado precautelar la buena utilización y conservación de los recursos naturales del país; que el desarrollo industrial en el Ecuador obliga a que se oriente con sentido humano y esencialmente cualitativo la preservación del ambiente; que es preciso establecer una política a nivel nacional que arbitre las medidas de un justo equilibrio entre su desarrollo tecnológico y el uso de recursos ambientales.

El capítulo 6 de la referida ley trata sobre la prevención y control de la contaminación de las aguas, así por ejemplo el capítulo 16 prohíbe descargar sin sujetar a las correspondientes normas técnicas por regulaciones, a las

redes de alcantarillados, o en las quebradas, acequias, ríos, lagos naturales o artificiales, o en las aguas marinas, así como infiltrar en terrenos, las aguas residuales que contengan contaminantes que sean nocivas a la salud humana, flora, fauna y a las propiedades.

1.5.4.2 Control de la Contaminación

La creciente sensibilización respecto al impacto de las actividades humanas en el medio ambiente y la salud pública ha dado lugar al desarrollo y la utilización de diferentes métodos y tecnologías para reducir los efectos de la contaminación.

En este sentido, los gobiernos han adoptado medidas de carácter normativo y político para minimizar los efectos negativos y garantizar el cumplimiento de las Normas sobre la calidad del ambiente.

El Ministerio del Ambiente es el ente encargado de hacer cumplir las leyes cuando exista algún derrame de hidrocarburo en el suelo, ríos, lagos y lagunas; según el Reglamento Ambiental para las operaciones Hidrocarburíferas y el Texto Unificado de Legislación Ambiental TULAS (ver anexo A pág. I, II y III).

1.5.4.3 Reglamento Ambiental para las operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador

En el reglamento menciona que la explotación racional de los recursos hidrocarburíferos es una necesidad indiscutible del País en sus actuales condiciones. Pero a la vez es necesario que se adopten todas las medidas necesarias para proteger el medio ambiente para las generaciones actuales y futuras del Ecuador.

En el capítulo XII de la mencionada ley, se establecen los límites permisibles para descargas líquidas, emisiones a la atmósfera y disposición de los desechos sólidos en el ambiente, cumplirán con los límites permisibles que constan en los anexos A pág. I, II y III de este Reglamento, los cuales constituyen el programa mínimo para el monitoreo ambiental interno y se reportarán a la Subsecretaría de Protección Ambiental conforme a la periodicidad establecida en el artículo 12 de este Reglamento. En caso de exceder un límite permisible establecido en los anexos, se debe reportar inmediatamente a la Subsecretaría de Protección Ambiental y justificar las acciones correctivas tomadas.

En la presente investigación se va a utilizar, las siguientes tablas del Reglamento Ambiental para Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador (Anexo A1 y A2 pág. I) y del Texto Unificado de Legislación Ambiental TULAS (Anexo A3 pág. II y III).

1.5.4.4 Tipos de Contaminación en nuestro medio

En el Ecuador existe una variedad de contaminaciones de origen natural y antropogénica entre las más importantes tenemos: industrias, mineras, hospitales, plásticos, agropecuarias, artesanales y domésticas que generan una variedad de contaminantes en el aire, agua y suelo. Se considera a los derrames de hidrocarburo y a los desechos de las industrias avícolas, como uno de los más importantes actores en la contaminación en nuestro país.

Contaminación de Agua por Derrame de Petróleo

El Petróleo

El petróleo está constituido por una gran cantidad de compuestos orgánicos formados principalmente por sustancias unidas por enlaces covalentes C-C y de C-H, conocidos como hidrocarburos, siendo el más sencillo y de menor peso molecular el metano. En pequeñas cantidades se encuentran compuestos sulfurados, oxigenados, nitrogenados, sales organometálicos, sedimentos y agua emulsionada considerados como impurezas del petróleo. En la industria del Petróleo es preciso conocer del crudo su naturaleza química determina por el predominio de familias hidrocarburíferas y contaminantes, este conocimiento influye en su comercialización, transporte, almacenamiento y refinación.

Composición Elemental del Petróleo

Los petróleos obtenidos en los diferentes campos son de naturaleza variada, pero cada uno de ellos está compuesto básicamente por carbono e hidrógeno. Contiene además en cantidades pequeñas azufre, oxígeno, nitrógeno y trazas de metales. Según la Corte, la composición de un petróleo puede corresponder a los valores que se indican en el siguiente gráfico.

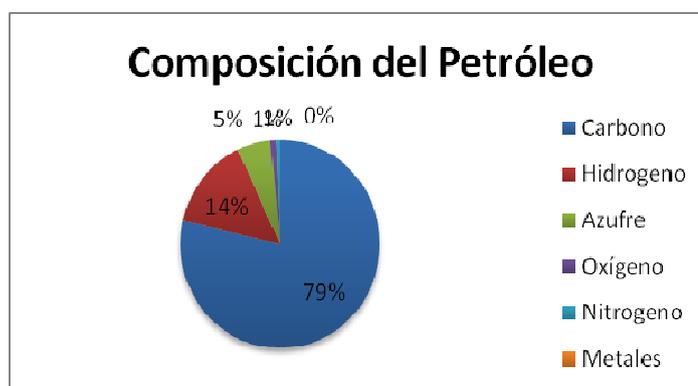


Gráfico 1.1 Composición del petróleo.
Fuente: Villacís 2007

Propiedades que caracterizan a un Hidrocarburo.

La mayor parte de los productos de origen petrolífero son mezclas más o menos sencillas en el caso de los gases, pero muy complejas al tratarse de fracciones líquidas. Además, los productos comerciales, los cuales deben responder a determinadas especificaciones, son generalmente mezclas de fracciones complejas: naftas, carburantes para reactores, fueloil y aceites. Las características más importantes a tomar en cuenta en un hidrocarburo son: tensión de vapor de los hidrocarburos puros, de las fracciones del petróleo y de sus mezclas, temperatura y presiones críticas, densidad, viscosidad, potencia calorífica o poder calorífico, tensión superficial y solubilidad de los hidrocarburos.

Densidad.- La densidad es la relación entre el peso de un determinado volumen de muestra a una temperatura t y el peso del mismo volumen de agua a una temperatura determinada.

$$^{\circ}API = \frac{141.5}{\rho^{60/60^{\circ}F}} - 131.5 \quad \text{Ec 1.1}$$

En donde: $\rho^{60/60^{\circ}F}$ es la densidad relativa a $60^{\circ}F$.

La densidad $^{\circ}API$ se lo utiliza para clasificar los petróleos, pues mientras más alto es este valor, el petróleo es más ligero y en consecuencia al refinarlo producirá mayor rendimiento en productos livianos la tabla 1.3 ilustra la clasificación de petróleos en función de la densidad $^{\circ}API$.

Tabla 1.3 Tipos de crudos de acuerdo a sus grados de densidad.

| Tipo de crudo | Densidad ($^{\circ}API$) | Densidad (Kg/m^3) |
|---------------|----------------------------|-----------------------|
| Liviano | >31.1 | <870 |
| Mediano | 22.3 – 31.1 | 920 – 870 |
| Pesado | 10 – 22.3 | 1000 – 920 |
| Extra pesado | <10 | >1000 |

Fuente: Wuttie, Refinamiento del petróleo.

El método del hidrómetro es empleado en la medición de la densidad API para petróleo crudo y productos derivados del petróleo manejados como líquidos que tengan una presión de vapor Reid de 26 psia (180 KPa) al menos. La densidad API se determina a la temperatura estándar de 60° F, o a temperaturas diferentes a ésta que luego son convertidas a la temperatura estándar mediante interpolación en tablas. Las tablas son empleadas para hidrocarburos o hidrocarburos puros especialmente denominados como compuestos aromáticos. Los resultados dependen de la escala a la que se encuentra graduado el hidrómetro en relación con la clase de sustancia problema empleada.

La determinación de la densidad API de un petróleo y de sus derivados es necesaria para la conversión de volúmenes de una temperatura cualquiera a la temperatura estándar de 60°F. La densidad debe correlacionarse con otras propiedades para estimar la composición y calor de combustión de los diferentes hidrocarburos. Los métodos hidrométricos permiten determinar la pureza de los hidrocarburos y de los diferentes derivados del petróleo; además nos indican la calidad de un producto empleado en trabajos de combustión. La capacidad de un hidrómetro depende de la ley del Empuje de Arquímedes de las propiedades de las sustancias, de la temperatura, el tiempo y del área de trabajo.

Efectos de la Contaminación por Hidrocarburo

La organización no gubernamental Greenpeace (del inglés green: verde, y peace: paz), en su página web habla acerca de la contaminación de hidrocarburo y sus efectos lo siguiente:

Los hidrocarburos son un tipo de contaminantes que afectan a la calidad del agua de manera importante. Los derrames de petróleo, cada día son más

frecuentes en los ríos y océanos, dejan estelas de contaminación de efectos a muy largo plazo. Cuando se produce un vertido, el primer efecto que se detecta es que aparecen aves “petroleadas”. Las aves, al cubrir su plumaje con aceites e hidrocarburos, pierden la capacidad protectora y aislante con lo que en la mayoría de los casos mueren por hipotermia. Las aves que han estado en contacto con el petróleo también pueden perder su flotabilidad y su capacidad de vuelo.

El petróleo contiene una gran colección de sustancias contaminantes que son tóxicas para la fauna y el ser humano. Entre ellas se encuentran algunos compuestos orgánicos volátiles (COVs), hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs) o metales pesados. Las más preocupantes son los PAHs y sus derivados. Los PAHs se consideran compuestos orgánicos persistentes, ya que su estructura molecular es muy estable, por lo que pueden permanecer en el medioambiente durante largos periodos de tiempo. Presentan una baja solubilidad en agua, pero en cambio son liposolubles y pueden acumularse en los tejidos grasos de los organismos (bioacumulación) incrementando de esta forma su peligrosidad. Los principales impactos de los PAHs en la salud humana se centran en sus propiedades genotóxicas, es decir, causan daños al material genético pudiendo generar efectos mutagénicos y promover el desarrollo de tumores (carcinogénesis). De hecho, estudios epidemiológicos realizados tras accidente como el del Prestige ha confirmado estos efectos sobre la salud humana. Aunque los compuestos más estudiados han sido los PAHs, no hay que infravalorar la peligrosidad de sus derivados alquílicos. Éstos son más persistentes que los primeros y en algunas ocasiones también más tóxicos. La alquilación de los PAHs (la introducción de una cadena de hidrocarburo en una molécula orgánica, en este caso de PAH) disminuye la solubilidad en agua pero incrementa su concentración en tejidos grasos y por lo tanto su bioacumulación.

La contaminación por hidrocarburos puede tener efectos nefastos sobre los ecosistemas. En la cadena alimenticia, por ejemplo, el petróleo contamina el plancton, el cual es la fuente de alimento de muchos organismos marinos, entre ellos los peces, quienes a su vez sirven de alimento a peces más grandes, cetáceos, aves, humanos, etc. Los peces no sólo son envenenados al ingerir alimento contaminado, también cuando el hidrocarburo entra en su organismo a través de las agallas. Igualmente destruye los huevos y algunos contaminados pueden producir descendencia deforme.

Las aves al tratar de limpiar sus plumas lo ingieren y mueren entonces por intoxicación; además el peso del crudo, aparte de que las puede hacer ahogar si se encuentran lejos de costa, no les permite volar lo que condiciona su sobrevivencia al no poder buscar el alimento. En el caso de los mamíferos marinos la piel pierde su capacidad aislante muriendo así, por pérdida de calor corporal. A los delfines y ballenas el petróleo les taponan las vías respiratorias y mueren asfixiados. El crudo de petróleo en las playas se solidifica y cubre el hábitat de los moluscos crustáceos y otros organismos que los habitan. En el área submarina puede llegar a cubrir en masa sólida ecosistemas de arrecifes coralinos.

Las vías de exposición a hidrocarburos aromáticos son tres: respiratoria, dérmica y digestiva. Durante las labores de limpieza son la respiratoria y la dérmica. Entre los efectos inmediatos que puede causar la inhalación de los vapores que se desprenden de este fuel están los daños pulmonares y la depresión transitoria del sistema nervioso central. A través de la piel, aunque los efectos inmediatos no son de extrema gravedad, puede producir irritación, dermatitis. Igualmente, se pueden absorber PAHs, dada su liposolubilidad, y a largo plazo fomentar el desarrollo de cáncer de piel. La fauna sufre efectos tóxicos por exposiciones similares. Por inhalación de gases que se desprenden cuando el hidrocarburo se está volatilizándose; por ingestión, al contaminar la

cadena alimentaria; y por contacto dérmico. Los vapores que se desprenden pueden dañar el sistema nervioso central de los animales, el hígado y los pulmones. Pueden provocar efectos muy graves en el sistema respiratorio y sobre la piel. A través de la ingestión de petróleo, pueden perder la capacidad de alimentarse o digerir por daños celulares en el tracto intestinal. Algunos estudios muestran incluso, que, a largo plazo, pueden aparecer afecciones reproductivas.

1.5.4.5 La contaminación por desechos orgánicos.

Los desechos orgánicos son aquellos que tienen la característica de poder desintegrarse o degradarse rápidamente, transformándose en otro tipo de materia orgánica. Ejemplo: los restos de comida, frutas y verduras, sus cáscaras, carne, huevos. La mayoría de los desechos orgánicos que contamina el agua procede de desechos de alimentos, de aguas negras domésticas y de fábricas y es descompuesta por bacterias, protozoarios y diversos organismos mayores. Ese proceso de descomposición ocurre tanto en el agua como en la tierra y se lleva a cabo mediante reacciones químicas que requieren oxígeno para transformar sustancias ricas en energía en sustancias pobres en energía.

El volumen de residuos y desechos de origen vegetal suponen el 25% de estos residuos, como por ejemplo los desechos verdes (o de jardín), lodos (20%), residuos de alimentos (18%) y papel y cartón (15%), la transformación de la madera forma otro 18% de los residuos orgánicos. Otros desechos orgánicos son la orina, sangre y heces de animales siendo los más importantes la del ganado vacuno, porcino, equino y la gallinaza este último existe en mayor cantidad debido al crecimiento de plantas avícolas en el Ecuador por el consumo masivo de la carne de pollo en la población, generando a su vez una gran cantidad de desechos de plumas de pollo.

Los desechos orgánicos además de ser un recurso valioso para los suelos pobres en nutrientes, este material genera los más importantes niveles de contaminación cuando se depositan en vertederos. Algunas formas de desechos orgánicos pueden causar problemas de salud pública, tales como enfermedades, malos olores y las plagas.

Contaminación por desechos avícolas

A medida que crece la población mundial, también crece la necesidad de proteína fácilmente disponible, especialmente de pollo, carne o huevos; y, también aumenta la cantidad de desechos avícolas que contaminan el ambiente. Las heces y la orina de aves se utilizan para compostaje, pero no existe la cultura del uso de otros residuos avícolas para aprovechar su poder proteico como se puede comprobar en las siguientes notas:

Los residuos orgánicos que desechan las industrias avícolas están generando contaminación en el agua, aire y suelo. Los habitantes del sector Victoria del Pueblo, ubicado al norte de la ciudad de Babahoyo y diagonal al mercado 4 de Mayo, ven continuamente flotar sacos de plumas, vísceras, cabezas, sangre y pollos muertos, entonces cada vez que sube el caudal del río los desperdicios se dispersan; además existen personas que utilizan esta fuente de agua para tomarla produciéndoles problemas gastrointestinales (Diario El Extra).

La comunidad del Bajo de la Palma del cantón Montecristi, denunció a través del diario el Mercurio 2009, los malos olores que emanan tres granjas avícolas asentadas en dicho sector. Los moradores dicen que la proliferación de moscas es diario ya que el estiércol de las aves la mezclan con agua y la secan en el patio, lo que origina la contaminación en el sector.

En el sector de la Pampa se encuentra ubicada la planta POFASA, que es un camal de pollos y sus desechos orgánicos son depositados en el río Monjas, provocando olores desagradables causados por la materia orgánica en descomposición.

Efectos de la contaminación por plantas avícolas.

Los sistemas intensivos de producción animal (bovinos, cerdos y aves) pueden crear enormes problemas de polución, debido a las grandes cantidades de sustancias contaminantes que producen (Costa y Urgel 2000 y Smith et al. 2001). Además, originan grandes volúmenes de estiércol que se depositan en el suelo.

El fósforo, una vez en el suelo, se libera mediante la acción de las fitasas que producen los microorganismos de este ecosistema. Después, pasa a ríos y lagos, lo que da lugar a los fenómenos de eutrofización de las corrientes de agua y de los reservorios acuáticos. En estas circunstancias, hay un crecimiento acelerado de las algas y un agotamiento del contenido de oxígeno del agua, lo que provoca la mortalidad de la fauna acuática (Jongbloed et al. 1996).

Uno de los mayores problemas es, sin duda, el olor desagradable de los residuos avícolas. La gallinaza fresca contiene sulfuro de hidrógeno (H₂S) y otros compuestos orgánicos, que causan perjuicio a quienes habitan cerca de las granjas avícolas. La sensación de suciedad que acompaña a estos vertimientos, así como la aparición de síntomas evidentes de la degradación ambiental en el entorno, son otros factores que afectan la calidad de vida.

1.5.5 Remediación y Biorremediación

La remediación, consiste en el uso de procesos de degradación, químicos, para eliminar sustancias contaminantes que han sido vertidas en el medio ambiente. Estos procesos de remediación pueden efectuarse In situ (en el mismo lugar donde se ha originado la contaminación) o Ex situ (separando la porción contaminada y trasladándola a un reactor para ser tratada).

La remediación mediante métodos químicos consiste básicamente en utilizar las propiedades físicas y/o químicas de los contaminantes (por ejemplo, derrame de crudo en agua) para eliminar o aislarlos del entorno, mediante el agregado de otras sustancias al ambiente. Este proceso implica costos muy altos, y no siempre es muy efectivo. Se han empleado y se siguen desarrollando una gran variedad de métodos para la contención y limpieza de los vertidos de petróleo, fundamentalmente en aguas dulces y saladas; el problema es muy complejo, lo que en ocasiones puede conducir a contaminaciones más altas que las se trata de evitar.

1.5.4.2 Principales métodos de remediación son:

Barreras de burbujas de aire: mediante aire comprimido se forma una especie de cortina de finas burbujas que inhibe el movimiento de la capa de petróleo.

Barreras químicas: gelidificación o solidificación por aditivos. Realizado en la zona más externa de la mancha de petróleo, serviría como una barrera de contención, incluso en zonas de mar abierto.

Agentes Dispersantes: están compuestos por un surfactante, un disolvente y un estabilizador; emulsionan el petróleo para producir la dispersión y de esta forma se facilita la degradación natural. Originan problemas por la toxicidad de algunos dispersantes y no se puede emplear en playas.

Combustión: conduce a una importante contaminación del aire, por lo que su uso es totalmente desaconsejable en zonas costeras. El residuo que se origina es un sólido negrozco de más fácil recogida.

La biorremediación es una tecnología que utiliza el potencial metabólico de los microorganismos (fundamentalmente bacterias, pero también hongos y levaduras) para transformar contaminantes orgánicos en compuestos más simples poco o nada contaminantes, y, por tanto, se puede utilizar para limpiar terrenos o aguas contaminadas (Glazer y Nikaido, 1995).

Su ámbito de aplicabilidad es muy amplio, pudiendo considerarse como objeto cada uno de los estados de la materia (Atlas y Unterman, 1999):

Sólido. Con aplicaciones sobre medios contaminados como suelos o sedimentos, o bien directamente en lodos, residuos, etc.

Líquido. Aguas superficiales y subterráneas, aguas residuales.

Gases. Emisiones industriales, así como productos derivados del tratamiento de aguas o suelos.

Se puede usar los microorganismos para degradar hidrocarburo de todo tipo (alifático, aromático BTEX, HAPs) hidrocarburos clorados (PCBs, TCE, PCE, pesticidas y herbicidas) compuestos nitroaromaticos (TNT y otros) y metales pesados estos no se metabolizan por los microorganismos de manera apreciable, pero puede ser inmovilizado o precipitados.

Los microorganismos transforman y metabolizan aeróbicamente los hidrocarburos y otros compuestos orgánicos hasta dióxido de carbono, agua y fuentes de alimento para sustentar su crecimiento y reproducción, es decir, la biodegradación ocurre naturalmente.

1.5.4.3 Métodos de Biorremediación

Empleo de sorbentes: Existen sorbentes orgánicos como son la paja, aserrín y las plumas de pollo, en estas materias orgánicas el hidrocarburo queda impregnado y de esta manera es más fácil retirarlo del agua.

Atenuación natural.- Uso de microorganismos nativos que tienen la capacidad de adaptarse y eventualmente degradar cualquier compuesto orgánico (hidrocarburo) natural sin asistencia del hombre; sin embargo, esta adaptación requiere la presencia de condiciones ambientales apropiadas tales como el pH, temperatura, el aceptor final de electrones (que en procesos aeróbicos es el oxígeno), concentraciones de contaminante no tóxicas para los microorganismos y adecuadas condiciones de humedad y conductividad del medio, entre las más importantes.

Fertilización, método de biorremediación de adición de nutrientes, como nitrógeno o fósforo a un medio contaminado para estimular el crecimiento de microorganismos nativos.

Inoculación.- adición de microorganismos a un sitio contaminado, los cuales pueden adicionarse junto con nutrientes

Fitorestauración.- Consiste en utilizar cultivos de plantas para eliminar tóxicos presentes en agua y suelo. Las plantas pueden fijar los tóxicos o metabolizarlos tal y como hacen los microorganismos en los procesos de biorestauración.

Fitoextracción.- Es la captación de iones metálicos por las raíces de las plantas y su acumulación en tallos y hojas. Hay plantas que absorben selectivamente grandes cantidades de metales acumulando en los tejidos concentraciones mucho más altas que las presentes en el suelo o en el agua. Este proceso se ha utilizado para eliminar hidrocarburos del agua y del suelo. En la zona contaminada se plantan las especies que previamente se seleccionan. Cuando las plantas crecen se recolectan y se incineran. Las cenizas se pueden lavar para recuperar los metales o bien, pueden confinarse

en vertederos de tóxicos, con la ventaja de que ocupará un espacio mucho menor que el que se usaría si se desechara el suelo contaminado.

Bioventilación. Es una biorremediación “in situ” que utiliza microorganismo endógeno para degradar contaminantes tanto del agua como de los suelos.

1.5.4.4 EL uso de plumas de pollo para remediar aguas contaminadas con hidrocarburo

Características de Plumas de Pollos.

Las plumas proveen a las aves diversas funciones como la de proteger la piel, regular la temperatura del cuerpo, hacer posible la función del vuelo, flotar sobre el agua. Estas plumas son repelentes e impermeables al agua gracias a su micro estructura. La repelencia al agua confiere auto limpieza: al caer una gota de agua está tenderá a rodar, llevándose con ellas partículas de polvo o suciedades adheridas al plumaje; debido a que están compuestas por la proteína queratina. La pluma de pollo presenta la siguiente estructura. (Figura 1.1)

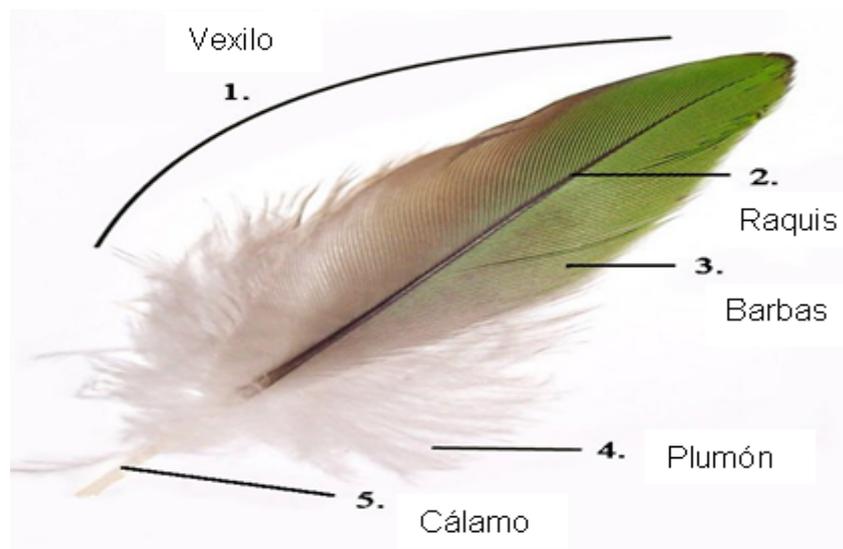


Figura 1.1 Estructura de la pluma de pollo.
Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Pluma>

1.5.4.5 Queratina

Es una sustancia proteica muy rica en azufre, que constituye el componente principal de las capas más externas de la epidermis de los vertebrados y de otros órganos derivados del ectodermo como; pelos, uñas, plumas y cuernos. Existen dos tipos de queratina: α y β queratina las que se diferencian por su estructura y componentes. La α queratina posee cisteína (enlaces disulfuro que le da dureza) y la β queratina no posee cisteína es inextensible y la podemos encontrar, por ejemplo, en la tela de araña.

Es una proteína con una estructura secundaria (Figura 1.2), es decir, la estructura primaria de la proteína, se pliega sobre sí misma, adquiriendo tres dimensiones. Esta forma nueva es un espiral, llamándose así proteína α -hélice. Esta estructura se mantiene con esa forma tan característica gracias a los puentes de hidrógeno y a las fuerzas hidrofóbicas, que mantienen unidos los aminoácidos de dicha proteína. Todo esto unido le da a la proteína esa especial dureza característica.

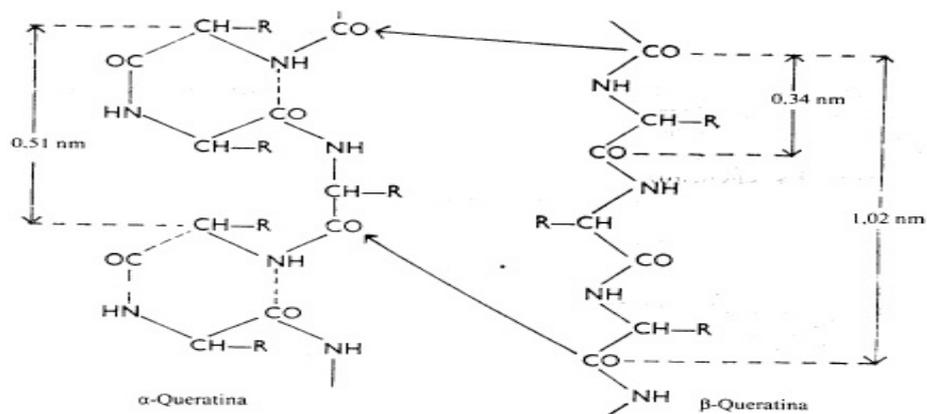


Figura 1.2 Estructura de la proteína α y β queratina.

Fuente: mazinger.sisib.uchile.cl/.../evanswc01/34.html

La composición química elemental de la queratina se puede apreciar en el siguiente gráfico.

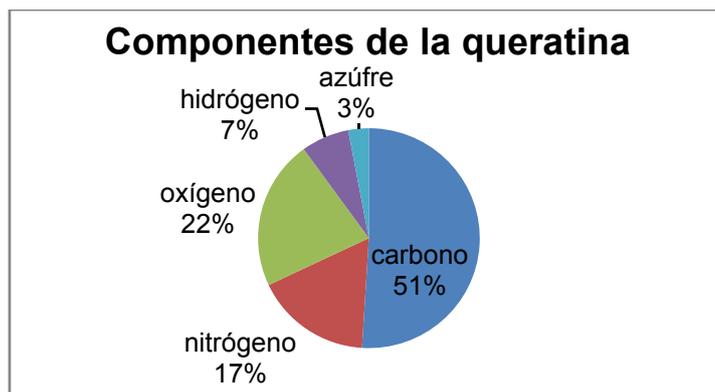


Gráfico 1.2 Componentes de la queratina.

Debido a que tienen aminoácidos con grupos hidrofóbicos (fenilalanina, isoleucina, valina y alanina), su solubilidad en agua es muy baja. Como consecuencia, y pese a la ausencia de factores antinutritivos, la α -queratina en estado natural es muy poco digestible (< 5%), como se demuestra por la presencia de bolas de pelo en el aparato digestivo de los animales (FEDNA).

1.5.4.6 Composición Química de la Harina de Plumas de Pollo.

La harina de plumas es un concentrado proteico (81-86% PB) proteína bruta o cruda, además se encuentra formado por cenizas, materia seca como se puede ver en el cuadro 1.1.

Cuadro 1.1 Composición química de la harina de plumas y el hidrolizado.

| | Harina | Hidrolizado |
|------------------|---------------|--------------------|
| Materia seca (%) | 92.4 | 10.8 |
| Proteína cruda | 82.96 | 55.6 |
| Cenizas | 3.47 | 33.83 |

Fuente: Bauza, et al., Perú 2007.

1.5.6 Producción de Harina de Plumas de Pollo

La harina de plumas puede convertirse en un concentrado proteico palatable y altamente digestible (hasta el 82% en rumiantes). Para ello, debe hidrolizarse bajo condiciones de elevada presión (3,2 atmósferas) y temperatura (146°C) durante el periodo de tiempo necesario (alrededor de 30 minutos) para que se produzca la ruptura de los enlaces químicos que dan estructura a la queratina. Un procesado excesivo da lugar a transformaciones de aminoácidos en compuestos de menor valor nutritivo (lisina en lisinoalanina, cistina en lantionina). Recientemente, se ha propuesto un método de tratamiento alternativo al calor que incluye la utilización de enzimas (queratinasa y proteasa) (FEDNA).

1.5.6.4 Pasteurización

Es una operación básica que consiste en un tratamiento térmico relativamente suave (temperaturas inferiores a 100°C). La pasteurización puede prolongar la vida útil de los alimentos por varios días.

1.5.6.5 Esterilización

Es el proceso de eliminación de toda forma de vida, incluidas las esporas a una temperatura de 121°C en adelante. Es un término absoluto que implica pérdida de la viabilidad o eliminación de todos los microorganismos contenidos en un objeto o sustancia, acondicionado de tal modo que impida su posterior contaminación.

1.5.6.6 Secado

Consiste en separar pequeñas cantidades de agua u otro líquido de un material sólido con el fin de reducir el contenido de líquido residual hasta un valor aceptablemente bajo.

1.5.6.7 Molienda

La molienda es una operación unitaria que también es conocida como reducción de tamaño. A pesar de implicar sólo una transformación física de la materia sin alterar su naturaleza (Breen, 1998).

1.5.6.8 Tamizado

La separación de materiales sólidos por su tamaño es importante para la producción de diferentes productos. Se utiliza para el análisis granulométrico de los productos de los molinos para observar la eficiencia de éstos y para control de molienda de diversos productos o materias primas. El tamiz consiste de una superficie con perforaciones uniformes por donde pasará parte del material y el resto será retenido por él. Para llevar a cabo el tamizado es requisito que exista vibración para permitir que el material más fino traspase el tamiz (Brennan, 1998).

1.5.7 Adsorción

La adsorción es la adhesión física de moléculas o coloides a las superficies de un sólido, un adsorbente, sin que se lleve a cabo una reacción química. En algunos aspectos, la adsorción es semejante a la coagulación y a la floculación. Un aspecto distinto es que la adsorción usa en general un sólido adsorbente procesado especialmente para el tratamiento del agua; en la coagulación y floculación, el adsorbente es producido en el lugar por la reacción química con el agua, tal como el alumbre.

1.5.8 Sistema de Hipótesis o pregunta de investigación

La harina elaborada con las plumas de pollo que se desechan en las empresas avícolas, remueven en forma significativa hidrocarburos presentes en el agua por derrames no deliberados.

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Participantes

El alumno responsable de la ejecución del proyecto de la Tesis fue el señor: Pablo David Salinas, egresado de la Carrera de Ingeniería en Biotecnología. Los profesionales que asesoraron el trabajo, fueron por parte de la ESPE, la ingeniera/o Patricia Moreira y Pedro Romero.

2.2 Zona de Estudio

El estudio se realizó en su mayor parte en el Departamento de Petróleo, Energía y Contaminación de la Universidad Central del Ecuador ubicada en la ciudad de Quito, provincia de Pichincha, con el apoyo de los docentes que laboran en esa prestigiosa Universidad.

2.3 Periodo del inicio de la investigación

La presente investigación se desarrolló a partir del 1 de abril del 2009 culminando el 30 enero del 2010.

2.4 Diseño Experimental

Los datos recolectados de la investigación fueron de carácter cuantitativo expresados en miligramos por litro (mg/L) y en porcentaje (%), la capacidad de sorción de la harina de plumas de pollo, analizada mediante un Diseño Factorial de $2^2 \times 3$ (Anexo B pág. I) con 12 tratamientos y tres repeticiones para cada uno de ellos como se detalla en la tabla 2.1

Tabla 2.1 Tratamientos realizados para la evaluación de DBO, DQO, OD en aguas contaminadas con crudo mediano.

| Tratamientos | Tamaño de partícula la harina | Cinética | Tiempo (min) |
|--------------|-------------------------------|------------|--------------|
| A | Sin tamizar o Normal | Reposo | 5 |
| B | | | 15 |
| C | Gruesa malla (1mm) | Reposo | 5 |
| D | | | 15 |
| E | Fina malla (0.25mm) | Reposo | 5 |
| F | | | 15 |
| G | Sin tamizar o normal | Movimiento | 5 |
| H | | | 15 |
| I | Gruesa malla (1mm) | Movimiento | 5 |
| J | | | 15 |
| K | Fina malla (0.25mm) | Movimiento | 5 |
| L | | | 15 |

Para el análisis de los datos obtenidos durante el proyecto, se utilizó el software estadístico SPSS versión 15, con el cual se obtuvo la estadística descriptiva (Anexo G) y se corrieron los modelos de diseño factorial y comparaciones múltiples.

Para la cinética en movimiento se utiliza un agitador mecánico (ANEXO F pág. I y II)

2.5 Procedimientos:

El presente trabajo se realizó a nivel de laboratorio.

2.5.1 Producción de harina de plumas de pollo.

Se empleó la técnica descrita por Macedo 2002 (Anexo C1 pág. I), con algunas modificaciones. Para la producción de la harina de plumas se recolectaron las plumas de pollo broiler provenientes de una avícola en San Pedro de Taboada del cantón Rumiñahui, una vez obtenidas las plumas de pollo se procedió a pesar, luego se realizó un pasteurización con 30 L de agua a una temperatura de 85°C para eliminar microorganismos que pudieran existir en las plumas, en seguida se realizó un secado al sol durante 24 horas y posteriormente se usó un secador Binder (5 a 300°C) a 125°C por 30 min (según se justifica el anexo D) para garantizar su conservación por largos periodos de tiempo; para obtener los diferentes tamaños de partícula se realizó la molienda y tamizado en un molino de cuchillas Thomas y finalmente se almacenó en frascos de plástico

2.5.1.1 Determinación del contenido de humedad.

Para conocer el contenido de humedad en las plumas de pollo se procedió a pesar una bandeja vacía, luego se colocó en esta bandeja una muestra de plumas de pollo y en seguida se ubica la bandeja en el secador Binder (Figura. 2.1) previamente calentado a 125°C por 30 min, a continuación se retira la bandeja del secador y se introduce en el desecador Duran Vakuumfest (Figura.2.2) durante 30 min y se pesa en una balanza UWE Geniweigher HGM-2000 de capacidad 2 kg. x 0.1 g, si el peso es menor al peso anteriormente determinado continuar con el secado por otro lapso de 30 min hasta cuando el peso sea constante y finalmente se calcula la humedad.



Figura 2.1 Secador Binder (5 a 300°C).



Figura 2.2 Desecador Duran Vakuumfest.

2.5.1.2 Caracterización de la harina de plumas de pollo.

Se analizó la composición química de la harina de plumas de pollo en el Laboratorio de Nutrición Animal, de la Facultad de Ingeniería Agronómica de la Universidad Central del Ecuador, con el objeto de conocer la cantidad de proteína, ceniza y humedad que contenía la harina (Anexo C2 pág. II). Posteriormente se realizó las pruebas físicas como: flotabilidad, flamabilidad, densidad aparente aplicando la NORMA ASTM F – 726.

Para la prueba de flotabilidad se colocó 5.75 L de agua en la piscina, con 11 g, de harina de plumas de pollo (Figura. 2.3) y se observa si flotan o se depositan en el fondo de la piscina los diferentes tamaños de partícula de harina. En el caso de la flamabilidad se toma un crisol y se colocan 11 g, de harina de plumas, se observa si al colocar un fósforo, la harina de plumas de pollo es inflamable.

Para medir la densidad aparente se toma una probeta de 25 mL (Figura. 2.4) se la pesa vacía y se la encera, luego se coloca la harina de plumas de pollo en la probeta hasta 25 mL y se anota el peso obtenido en la balanza de los 25 mL. Finalmente se divide el peso obtenido en la balanza (masa), para el volumen de la probeta (25 mL).



Figura 2.3 Flotabilidad de la harina de plumas de pollo.



Figura 2.4 Densidad de las plumas de pollo.

2.5.2 Caracterización del hidrocarburo.

Para determinar la densidad API del hidrocarburo obtenido (Figura. 2.5) se empleo la Norma ASTM D-287 Standard Test Method for API Gravity of Crudo Petroleum and Petroleum Products, la cual consistía en el siguiente procedimiento:

Se toma una probeta de 1000 mL limpia y seca, en seguida se coloca 1000 mL de crudo en la probeta, dejando en reposo 30 min aproximadamente; posteriormente se introduce un Termo hidrómetro de vidrio ASTM 53HM rango

19 a 31°API, y con un rango de temperatura de 30 a 180 °F, AP ± 1 ; correspondiente al tipo de muestra que se encuentra en la probeta dejándole estabilizar con el menisco. Finalmente se procura que el hidrómetro se encuentre en el centro de la probeta y que no tope las paredes logrando así una medición exacta de su ° API, al no lograr que se estabilice se debe cambiar el hidrómetro hasta que se pueda tomar una lectura y medir la temperatura a la cual se encuentra. Se registra el valor de temperatura y su ° API observada y se corrige la densidad observada de acuerdo a la tabla de corrección °API (Anexo E1 pág. I).



Figura 2.5 Medición de la densidad API del hidrocarburo.

2.5.3 Determinación del volumen mínimo de petróleo para contaminar un volumen de agua.

Se realizó un ensayo para determinar la dosis de crudo que contamina un volumen constante de agua de 5.75 L en una piscina mediante el siguiente procedimiento:

A partir de la densidad del crudo mediano obtenida en el punto 2.4.3 se calcula su masa. En una piscina de 8 L de capacidad, se coloca 5.75 L de agua y luego

se adiciona diferentes volúmenes de crudo 10, 25, 50, 100 y 150 mL cada volumen utilizado se deja en reposo durante 15 min sin perturbación ni movimiento. Finalmente se repite el procedimiento con agitación durante 30 min según Ortiz (2006) y también se explica en la norma ASTM F- 726 y el protocolo canadiense "Oil Spill Sorbents: Testing Protocol and Certification Listing Program".

Para medir los parámetros de la calidad del agua en reposo y con agitación se utiliza el pH/conductivímetro Thermo ORION 4Star para medir la temperatura, conductividad eléctrica, potencial de hidrogeno pH y sólidos totales disueltos, posteriormente se mide en la misma muestra la cantidad de oxígeno disuelto y la presión con el Oxímetro Thermo ORION 3 Star Oxígeno disuelto portable. Se pipetea 3 mL de agua contaminada y se coloca en los tubos del Kit de DQO de la Merck rango 15 – 1500 mg/L, luego se ubica los tubos en el Termoreactor Spectroquant TR 320 Merck durante 2 horas a 148°C, posteriormente se retira hasta que se enfríe para poder realizar la lectura en el Spectroquant NOVA 60 Merck y se compara con los límites permisibles de la Tabla 4 del Reglamento 1215 (Anexo A1 pág. I y II).

2.5.4 Determinación de la masa de harina necesaria para remediar aguas contaminadas con hidrocarburo

Se efectuó un ensayo para determinar las concentraciones más apropiadas de la harina de plumas de pollo. El ensayo consistió en la variación de la concentración de la harina de plumas, para remediar un volumen de crudo conocido y se midió mediante la fórmula de la capacidad de sorción.

Se procedió a colocar en tres recipientes de vidrio 5,75 L de agua y 25 mL (23 g) de crudo mediano, se añade al recipiente 20 g de harina de plumas de pollo sin tamizar, el procedimiento se repite con la harina gruesa y fina. Luego se

mide los parámetros de calidad del agua como se mencionó anteriormente en el punto 2.4.4. Finalmente se determinó la capacidad de sorción de la harina de plumas de pollo en el hidrocarburo mediano (22.3 – 31.1 ° API) en agua dulce adaptando la norma ASTM F726 y el protocolo canadiense Oil Spill Sorbents: Testing Protocol and Certification Listing Program, citado por Ortiz (2006) en la cual se determina la masa de hidrocarburo sorbido por gramo de material sorbente. El mismo procedimiento se realizó variando la masa para los diferentes tipos harina de plumas de pollo a 15, 11, 10, 9, 8 g.

2.5.5 Determinación del tiempo de contacto de la harina de plumas de pollo y el volumen de petróleo.

Una vez obtenido el volumen de crudo mínimo y la masa de harina de plumas de pollo, que adsorbe este volumen, se procede a conocer el tiempo de contacto entre la harina de plumas de pollo y el hidrocarburo.

Primero se realizó pruebas con diferentes tiempos desde 0, 5, 15, 30 y 960 min. Posteriormente se midió el peso de la harina en estos tiempos mencionados anteriormente; hasta cuando se mantenga constante su peso. Este procedimiento se realizó para cada uno de los diferentes tamaños de partícula de la harina de plumas de pollo.

2.6 Variables de medición

2.6.1 Determinación del pH, temperatura, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales en aguas.

El método utilizado es el Standard Methods 4500- H⁺B Electrometric Method, (Método Electrométrico) que consistió en calibrar el Conductivimetro/ pH metro Thermo Orion 4 Star, con las soluciones Buffer pH 4.00; pH 7.00 y pH 10.01; posteriormente se anota el SLOG, para confirmar su calibración que debe ir (93 - 95%) de confiabilidad, luego en un vaso de precipitación de 250 mL se coloca un volumen de 150 mL de agua contaminada con hidrocarburo mediano y se agita la muestra con el electrodo para establecer el equilibrio y registrar el valor cuando este sea constante en la pantalla.



Figura 2.6 pH metro/ conductivimetro.

2.6.2 Test en cubetas DQO de la Merck

La muestra de agua se oxida con una solución sulfúrica caliente de dicromato de potasio y sulfato de plata como catalizador. Los cloruros son enmascarados con sulfatos de mercurio. A continuación se determina fotométricamente la concentración de los iones $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ amarillos no consumidos.

Para determinar el DQO se utiliza el procedimiento utilizado en punto 2.4.4

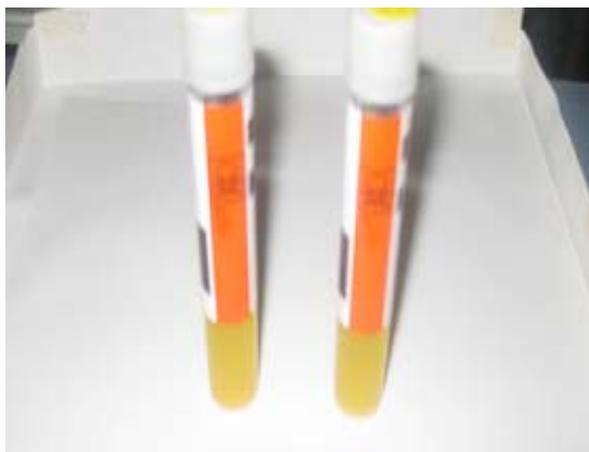


Figura 2.7 Cubetas de reacción de DQO.



Figura. 2.8 Termoreactor Spectroquant TR 320 Merck.



Figura 2.9 Lector de DQO Spectroquant Nova 60 Merck.



Figura 2.10 Kit DQO.

2.6.3 Pruebas de DBO

Las pruebas de DBO fueron realizadas en el Laboratorio de Ofertas de Servicios y Productos Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Central del Ecuador, aquí se utilizó el método APHA 5210 B (Anexo C2 pág. III y IV).

2.6.4 Sólidos Suspendidos y Turbidez

Para la determinación de sólidos suspendidos se homogeniza 500 mL de agua contaminada, en una mezcladora revolviendo con elevada velocidad durante 2 min, luego se introduce la solución en la cubeta rectangular de 20 mm (Spectroquant NOVA 60 MERCK); posteriormente se coloca la cubeta en el compartimiento para cubetas y se digita el método 182 para leer los sólidos suspendidos.

Para el caso de la turbidez se introduce la muestra en la cubeta de 50 mm (Spectroquant NOVA 60 MERCK), luego se coloca la cubeta en el compartimiento para cubetas y se selecciona el método 077 para la lectura.

2.6.5 Método para Arsénico

Para la determinación directa de la concentración de metales en una muestra de agua por absorción atómica, la muestra debe estar totalmente clara, caso contrario se debe realizar una digestión en la muestra, según lo descrito en el procedimiento de digestión de muestras de agua. Cuando la muestra se trata de crudo, suelo o lixiviado se procede a tratar previamente la muestra, mediante una digestión y lixiviación según el caso. El procedimiento se detalla a continuación:

Se toma 25 mL de la piscina y se acidifica con ácido nítrico HNO_3 y se preserva en refrigeración. Posteriormente se toma 10 mL de una solución al 1.5% de ácido clorhídrico que es el blanco de reacción, luego se procede a tomar 10 mL de la muestra, con una pipeta aforada y se coloca el reactor del generador de hidruro. Para realizar los análisis de arsénico se ejecutaron los siguientes pasos: se coloca la lámpara de arsénico y se espera que se estabilice durante 30 min, luego se abre la ventana de analizar y se ajusta el

reactor con la muestra al generador de hidruros, se espera el tiempo de purga antes de la reacción, que es aproximadamente 30 segundos y se digita en la pantalla táctil analizar muestra para luego oprimir el dispositivo de la válvula que permite la reacción del reductor con la muestra en el reactor o cilindro de medición; finalmente se lee la concentración del metal existente en la cantidad de muestra medida en las unidades preestablecidas.

2.6.6 Método para plomo

El método utilizado es el Standard Methods 3111 B Direct Air-Acetylene Flame Method, (Método Directo De Llama Aire-Acetileno) cuyo principio básico es que la cantidad de energía absorbida en la llama a una longitud de onda característica es proporcional a la concentración del elemento en la muestra, en un intervalo de concentraciones limitado.

Para realizar los análisis de plomo se toman 25 mL de muestra, se acidifica con ácido nítrico HNO_3 se preserva en refrigeración. Luego se coloca el capilar en la muestra y se realiza el análisis en el Perkin Elmer atomic absorption Spectrometer. Para realizar los análisis de plomo, se efectuaron los siguientes pasos: Se enciende el espectrofotómetro de absorción atómica para instalar la lámpara de plomo durante 30 min, a continuación se instala y se alinea el quemador. Luego se prepara los estándares de plomo de 5, 8 y 10 mg/L para realizar la curva de calibración y se procede a calibrar el Espectrofotómetro a continuación se introduce la manguera de absorción en la muestra y se digita en la pantalla analizar la muestra, finalmente se introduce la manguera de absorción en una solución de ácido nítrico al 3% para limpiar el capilar.



**Figura 2.11 Espectrofotómetro de Absorción Atómica Perkin Elmer
AAAnalyst 200.**

2.6.7 Determinación de Hidrocarburos totales de petróleo.

El contenido de TPH se lo realizó en el Laboratorio de Ofertas de Servicios y Productos Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Central del Ecuador, el resultado se puede apreciar en el anexo C4 pág. V

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1 Producción de harina de plumas

3.1.1 Contenido de humedad

De los datos obtenidos en el proceso de secado (Anexo D1 pág. I) se puede observar el gráfico 3.1 que corresponde al peso que va perdiendo las plumas a medida que pasa el tiempo hasta mantener un peso constante.

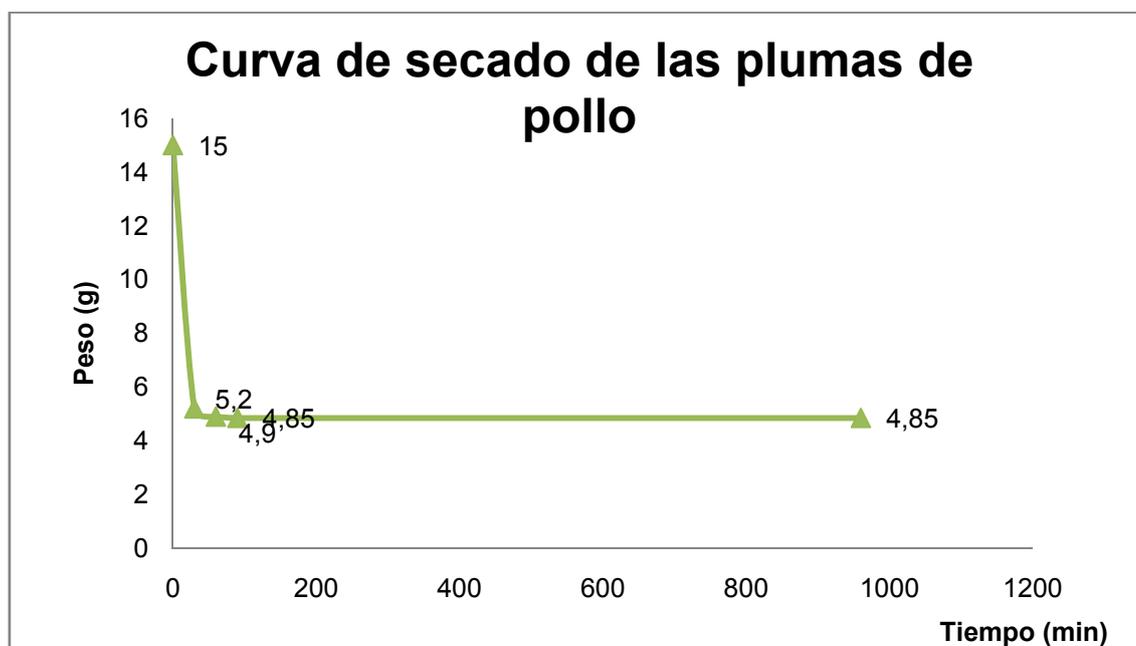


Gráfico 3.1 Curva de secado de las plumas de pollo.

Como se observa en la curva, el tiempo óptimo de secado de las plumas de pollo es de 30 min, tiempo en el cual el peso se mantiene constante, produciéndose una pérdida de agua que corresponde al contenido de humedad de las plumas de pollo, la misma que se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$mH_2O = \frac{\text{masa muestra humeda} - \text{masa muestraseca}}{\text{masa muestra humeda}} \times 100 \quad \text{Ec. 3.1}$$

$$mH_2O = \frac{15 - 4,85}{15} \times 100\%$$

$$mH_2O = 67,66\%$$

3.1.2 Tamizado

Luego de la molienda en el molino de cuchillas utilizando las mallas que se encuentran en dicho molino se obtienen tres tamaños de partícula: aquella que no pasa el tamiz de 1mm (harina sin tamizar), la que pasa por el tamiz de 1 mm (harina gruesa) y finalmente la que pasa por el tamiz de 0,25 mm (harina fina) Figura 3.1 a 3.3



Figura 3.1 Harina sin tamizar.



Figura 3.2 Harina gruesa.



Figura 3.3 Harina fina.

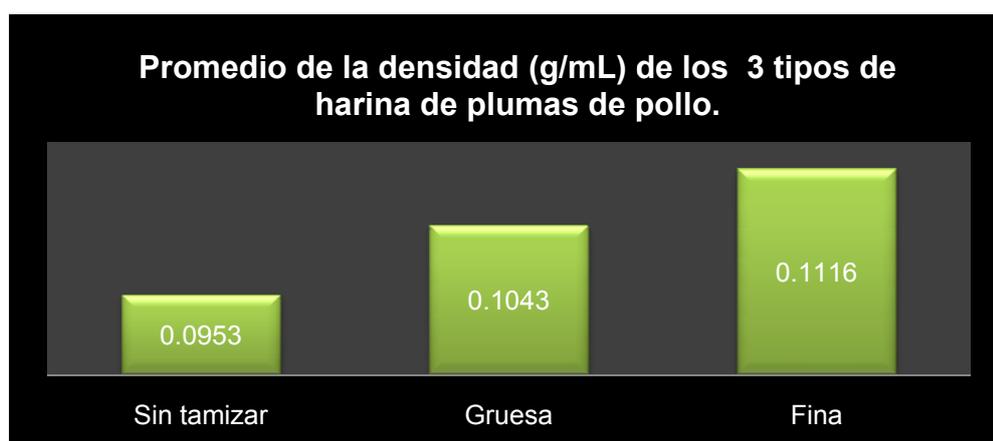
3.2 Caracterización de la harina de plumas de pollo.

Las propiedades físicas de flotabilidad, flamabilidad y el promedio de la densidad aparente de los diferentes tipos de harina, se presentan en la tabla 3.1 (Anexo D2 pág. I y II).

Tabla 3.1 Propiedades físicas de acuerdo a los tipos de pluma de pollo.

| Parámetros físicos de la harina de plumas | | | |
|--|---------------------|---------------------|---------------------------------|
| Tipos de Harinas | Flotabilidad | Flamabilidad | Promedio densidad (g/mL) |
| Sin tamizar | Si | No | 0.0953 |
| Gruesa | Si | No | 0.1043 |
| Fina | Si | No | 0.1116 |

Gráfico 3.2 Promedio de la densidad de la harina de plumas de pollo.



Se observa en la tabla 3.1 que los tres tipos de harina flotan y no son inflamables. En el gráfico 3.2 se puede notar que los tres tipos de harina son menos densos que el agua con hidrocarburo, por lo tanto flotan, siendo la de mayor densidad la harina fina.

Los resultados del análisis de la composición química de la harina de plumas de pollo realizada en el Laboratorio de Nutrición Animal, de la Facultad de Ingeniería Agronómica de la Universidad Central del Ecuador se pueden observar en la tabla 3.2

Tabla 3.2 Composición química de la harina de plumas de pollo.

| | Humedad (%) | Ceniza (%) | Proteína (%) |
|--------------------|--------------------|-------------------|---------------------|
| Harina sin tamizar | 4.6 | 1 | 79.2 |
| Harina gruesa | 3 | 1.3 | 76.2 |
| Harina fina | 5.1 | 1.3 | 74.2 |

Salinas 2010 (Anexo C2. Pág. II)

La tabla muestra que la mayor cantidad de proteína se encuentra en la harina sin tamizar (79.2%), la harina fina contiene mayor humedad (5,1%) y el porcentaje de ceniza es similar tanto en la harina gruesa como en la harina fina.

3.3 Caracterización del hidrocarburo

El tipo de un hidrocarburo se caracteriza por su densidad °API y relativa, la misma que indica que un hidrocarburo es liviano, mediano o pesado. La densidad °API observada, que se obtuvo se puede apreciar en los datos experimentales (Anexo E2 pág. I), a partir de estos datos se calcula la densidad relativa del crudo a 20°C como se muestra a continuación:

Para la corrección del °API hay que realizar una conversión de la temperatura centígrada a Fahrenheit mediante la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} ^\circ F &= \frac{9}{5} ^\circ C + 32 \\ ^\circ F &= 1.8x(21.1) + 32 = 70^\circ F \quad \text{Ec.3.2} \end{aligned}$$

A temperatura de 70°F se encuentra el °API corregido en la tabla de corrección API (Anexo E1-pag.I, para lo cual se realiza una interpolación con los datos de dicha tabla.

$$\begin{aligned} y &= mx + b \quad \text{Ec. 3.3} & y &= ^\circ API_{\text{corregido}} & y &= -0.1x + 29.5 \\ x &= ^\circ T_{\text{observada}} & & & ^\circ API_{\text{corregido}} &= -0.1x + 29.5 \\ & & & & ^\circ API_{\text{corregido}} &= -0.1(70) + 29.5 = 22.5 \end{aligned}$$

Una vez que se tiene el valor del °API corregido se calcula su densidad relativa aplicando la siguiente formula Ec 1.1

$$\delta r^{(60^{\circ}/60^{\circ}F)} = \frac{141,5}{API^{(60^{\circ}/60^{\circ}F)} + 131,5}$$

$$\delta r^{(60^{\circ}/60^{\circ}F)} = \frac{141,5}{22,5 + 131,5} = 0,9188$$

Finalmente se calcula la densidad del crudo a 20°C mediante la siguiente fórmula:

$$\delta r = \frac{\delta_{crudo} (20^{\circ}C)}{\delta_{agua} (20^{\circ}C)}$$

$$\delta_{crudo} (20^{\circ}C) = \delta r \times \delta_{agua} (20^{\circ}C)$$

$$\delta_{crudo} (20^{\circ}C) = 0.9188 \times 0.9982 \frac{g}{cm^3} = 0.9171 \frac{g}{cm^3} \quad \text{Ec. 3.4}$$

3.4 Determinación del volumen mínimo de petróleo que contamina un volumen de agua.

Los datos para la determinación mínima del volumen de petróleo se puede apreciar en el Anexo D3 pág. II y III).

Tabla 3.3 Volumen de hidrocarburos que contaminan 5.75 L de agua en reposo.

| Volumen (mL) | Temperatura (°C) | Promedio de DQO (mg/L) |
|--------------|------------------|------------------------|
| 150 | 19.4 | 183.6 |
| 100 | 19.3 | 140.3 |
| 50 | 20.2 | 119.3 |
| 25 | 19.5 | 70.0 |
| 15 | 20.01 | 18.66 |
| 0 | 19.8 | <10 |

Tabla 3.4 Volumen de hidrocarburos que contaminan 5.75 L de agua en movimiento.

| Volumen (mL) | Temperatura (°C) | Promedio de DQO (mg/L) |
|---------------------|-------------------------|-------------------------------|
| 100 | 19.8 | 270.33 |
| 50 | 19.8 | 211.32 |
| 25 | 20.1 | 140.01 |
| 15 | 19.7 | 27.7 |
| 0 | 19.8 | 10.00 |

Se puede observar en la tabla 3.3 y 3.4 que el valor de la DQO es mayor cuando el agua se encuentra en movimiento que en reposo y aumenta conforme aumenta el volumen de crudo.

3.5 Determinación de la capacidad de sorción.

La capacidad de sorción de la harina de plumas de pollo se calcula de la siguiente manera:

$$C_t = \frac{m_t - m_0}{m_0} = \frac{65,4 - 20}{20} = 2.27 \quad \text{Ec. 3.5}$$

C_t : capacidad de sorción

m_t : masa del material impregnado

m₀ : masa del material sorbente seco

Tabla 3.5 Capacidad de sorción de los tipos de harina de plumas de pollo, en el hidrocarburo mediano.

| Tipo de Harina | Capacidad de sorción (g de H.C / g de H.S) | | | | | |
|----------------|--|------|------|------|------|------|
| | 20 g | 15 g | 11 g | 10 g | 9 g | 8 g |
| Sin tamizar | 2.285 | 2.01 | 2.51 | 2.85 | 2.77 | 2.86 |
| Gruesa | 0 | 2.00 | 2.67 | 2.76 | 2.96 | 3.06 |
| Fina | 0 | 2.86 | 2.62 | 2.8 | 3.03 | 3.06 |

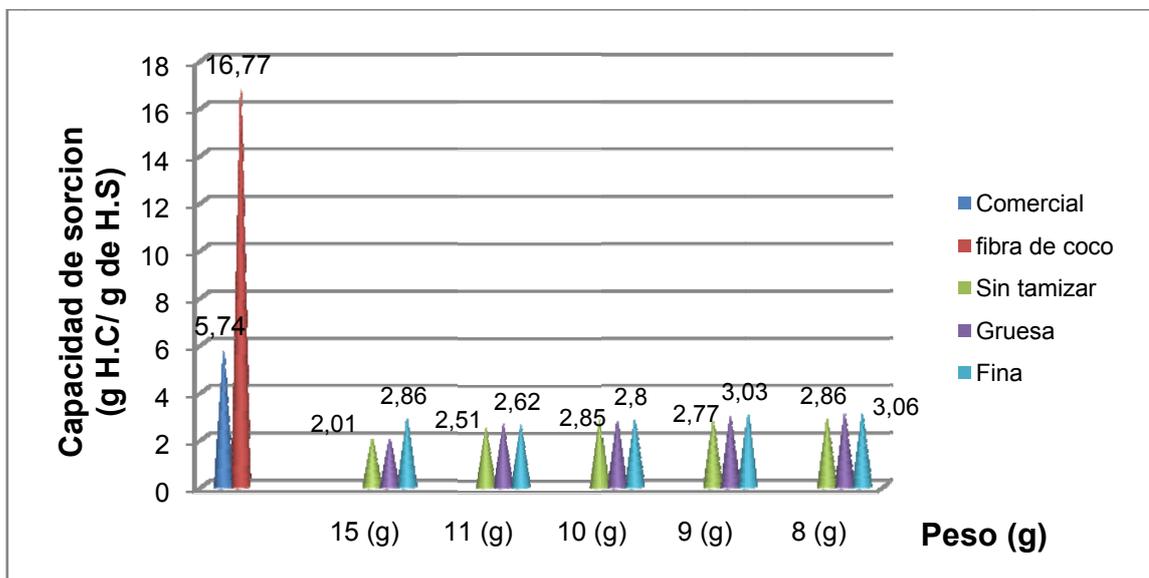


Gráfico 3.3 Capacidad de sorción de los tres tipos de harina de plumas de pollo (sin tamizar, gruesa y fina).

Tabla 3.6 Capacidad de sorción de los tipos de harina de plumas de pollo en el agua.

| Tipo de Harina | Capacidad de sorción (g H ₂ O / g H.S) |
|----------------|---|
| Sin tamizar | 0.41 |
| Gruesa | 0.27 |
| Fina | 0.17 |

Los tres diferentes tamaños de partícula de la harina de plumas de pollo presentan una baja capacidad de sorción en el agua como se muestra en la tabla 3.6 (Anexo D5 pág. V)



Figura 3.4 Adorción de crudo utilizando 8 g de harina sin tamizar.



Figura 3.5 Adorción de crudo utilizando 9 g de harina sin tamizar.



Figura 3.6 Adorción de crudo utilizando 11 g de harina sin tamizar.



Figura 3.7 Adorción de crudo utilizando 8 g de harina gruesa.



Figura 3.8 Adorción de crudo utilizando 9 g de harina gruesa.

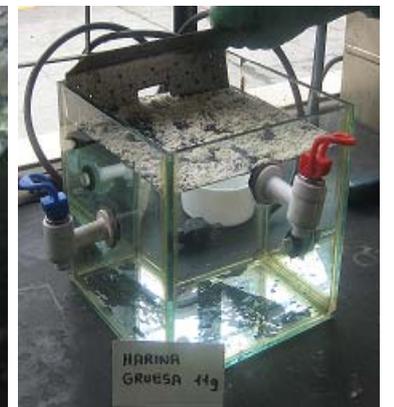


Figura 3.9 Adorción de crudo utilizando 11 g de harina gruesa.



Figura 3.10 Adsorción de crudo utilizando 8 g, de harina fina.

Figura 3.11 Adsorción de crudo utilizando 9 g, de harina fina.

Figura 3.12 Adsorción de crudo utilizando 11 g, de harina fina.

Al colocar los diferentes tipos de harina de plumas de pollo variando su peso se observó que cada una de ellas presenta diferente sorción, como se puede ver en la tabla 3.5 (Anexo D5 pág. IV). En el grafico 3.3 se observa que la capacidad de sorción (2.29 g HC/g HS) es menor, cuando existe mayor cantidad de harina de plumas de pollo 20 g y en las figuras 3.4 a 3.12 se aprecia que la concentración más apropiada de harina de plumas de pollo para los tres tamaños de partícula fue de 11 g.

3.6 Determinación del tiempo de contacto de la harina de plumas de pollo y el hidrocarburo mediano.

Tabla 3.7 Tiempo de contacto de la harina sin tamizar, gruesa y fina con el hidrocarburo mediano.

| Tiempo (min) | Harina sin tamizar (g) | Harina gruesa (g) | Harina fina (g) |
|--------------|------------------------|-------------------|-----------------|
| 0 | 11 | 11 | 11 |
| 5 | 38.1 | 38.10 | 38.7 |
| 15 | 38.2 | 38.70 | 38.6 |
| 30 | 39.1 | 39.05 | 39.1 |
| 960 | 39.2 | 39.10 | 39.1 |

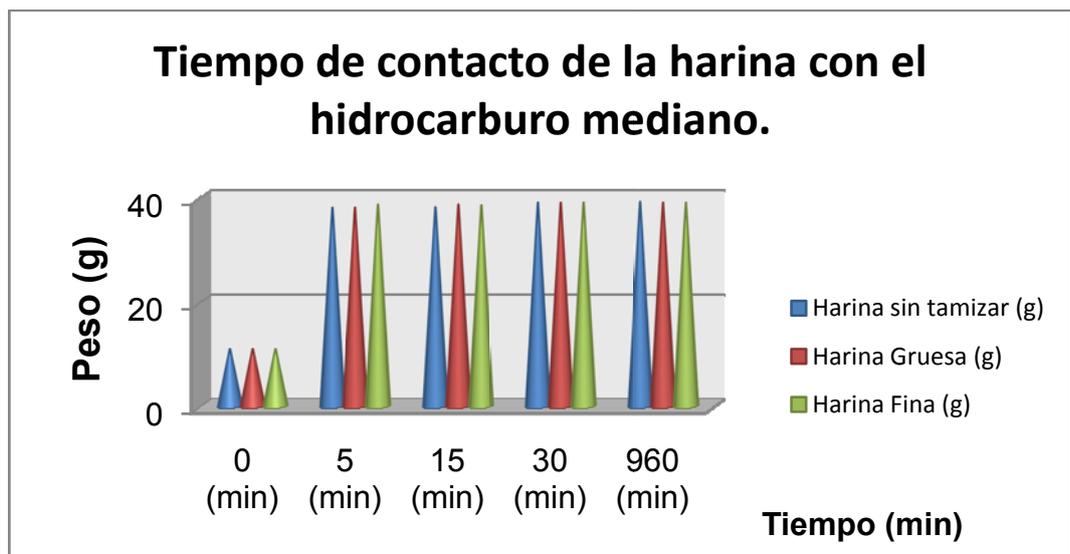


Gráfico 3.4 Tiempo de contacto de la harina sin tamizar, gruesa y fina con el hidrocarburo mediano.

En la tabla 3.7 y gráfico 3.4 se ve que el tiempo de contacto entre la harina y el hidrocarburo es inmediato y que da igual recoger en 5 min que en 960 min porque es mínima la diferencia. Para los tres tamaños de partículas ocurre el mismo tiempo de contacto (Anexo D4 pág. III).

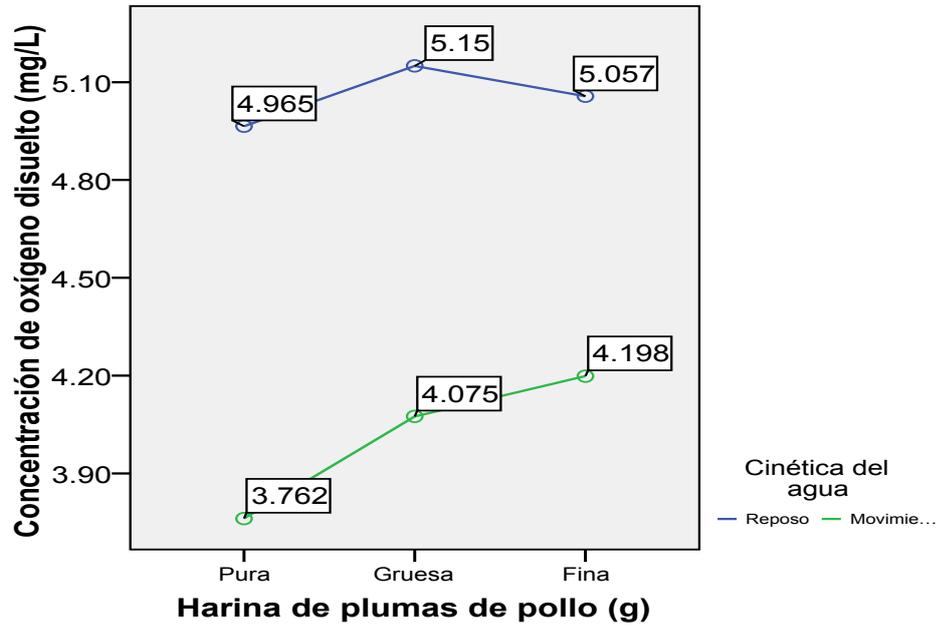
3.7 Análisis de datos

3.7.1 Oxígeno Disuelto

En el grafico. 3.3 a se aprecia que para cualquier tamaño de partícula de la harina de plumas de pollo utilizado en el estudio, es mucho mejor trabajar con agua en reposo que con agua en movimiento, puesto que existe una mayor cantidad de oxígeno promedio disuelto cuando la cinética del agua está en reposo. Esta situación se va a probar inferencialmente, más adelante. El resto de medidas descriptivas se presentan en la parte respectiva del anexo G pág. I.

En el grafico 3.3 b existen dos grupos uno de harina sin tamizar y el otro de la harina gruesa y fina para el tiempo de 15 min, lo mismo sucede para el tiempo de 5 min, aunque su diferencia de oxígeno disuelto no parece significativa esto se comprueba mas adelante con la prueba de Tukey.

a)



b)

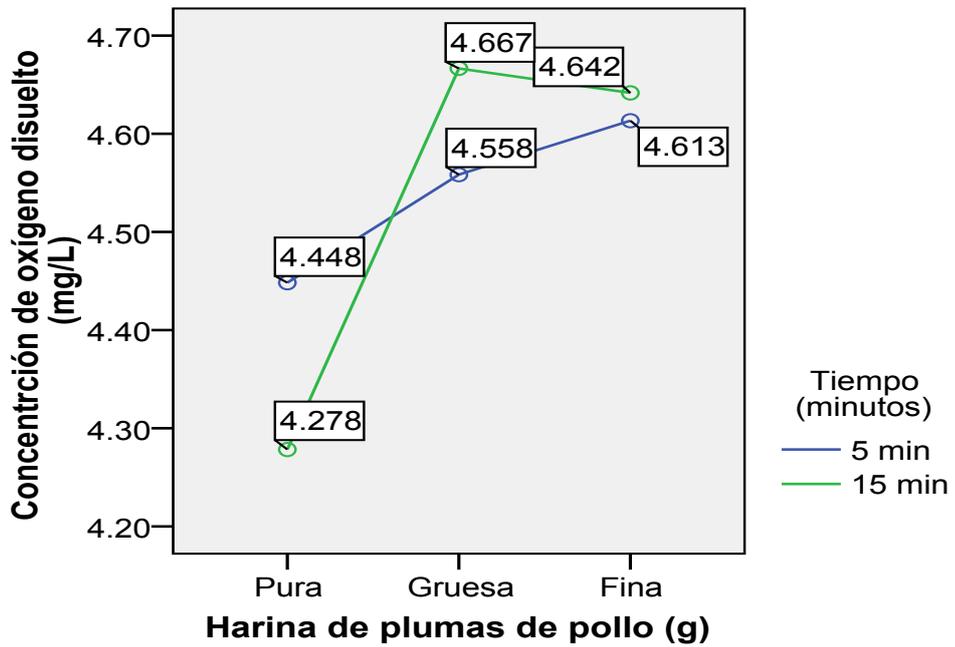


Gráfico 3. 3 a y 3.3 b perfil del oxígeno disuelto.

En el cuadro 3.1 se observa que el valor *p* es menor al 5% para los factores harina y cinética; esto implica que dichos factores influyen significativamente en la medida del oxígeno disuelto (OD), de tal forma que con alguno de los tres tipos de harina (sin tamizar, gruesa o fina) se logra una mayor cantidad de OD; similarmente, el OD con el agua en reposo es distinto que con el agua en movimiento. A diferencia, para el factor tiempo y para todas las interacciones bidireccionales (harina*cinética, harina*tiempo y cinética*tiempo) entre los niveles fijados de los tres factores, el valor *p* es mayor que el 5% al igual que para la interacción tridireccional (harina*cinética*tiempo); con esto se concluye que el OD máximo no se ve modificado mayormente al variar el tiempo manteniendo constantes los otros dos factores, por lo que el tiempo no explica la variación presente en el OD.

Cuadro 3.1 Análisis de varianza para el oxígeno disuelto.

| Fuentes | Suma de cuadrados tipo III | gl | Media cuadrática | f | Valor <i>p</i> |
|----------------------------|-----------------------------------|-----------|-------------------------|----------|-----------------------|
| Harina | 0.528 | 2 | 0.264 | 8.962 | 0.001 |
| Cinética | 9.839 | 1 | 9.839 | 333.766 | 0.000 |
| Tiempo | 0.001 | 1 | 0.001 | 0.038 | 0.848 |
| Harina * Cinética | 0.182 | 2 | 0.091 | 3.095 | 0.064 |
| Harina * Tiempo | 0.123 | 2 | 0.062 | 2.090 | 0.146 |
| Cinética * Tiempo | 0.003 | 1 | 0.003 | 0.109 | 0.744 |
| Harina * Cinética * Tiempo | 0.141 | 2 | 0.071 | 2.395 | 0.113 |
| Error | 0.707 | 24 | 0.029 | | |
| Total | 751.728 | 36 | | | |

a. R cuadrado = .939 (R cuadrado corregida = .910)
 gl = grados de libertad; f= frecuencia

Según la prueba de DHS de Tukey para el OD, existen dos grupos estadísticamente distintos: por un lado la harina sin tamizar con una concentración de OD de 4.363 mg/L y por otro la harina gruesa y fina con concentraciones de OD 4.613 y 4.628 mg/L, respectivamente, siendo el mejor grupo el segundo (pues el OD promedio es mayor) y dentro de éste la harina gruesa pues su costo de producción es menor, tal como se puede observar en el cuadro 3.2.

Cuadro 3.2 Prueba de Tukey DHS para el oxígeno disuelto.

| Harina de plumas de pollo (g) | | N | Subconjunto | |
|-------------------------------|-------------|----|-------------|-------|
| | | | 1 | 2 |
| DHS de Tukey | Sin tamizar | 12 | 4.363 | |
| | Gruesa | 12 | | 4.613 |
| | Fina | 12 | | 4.628 |

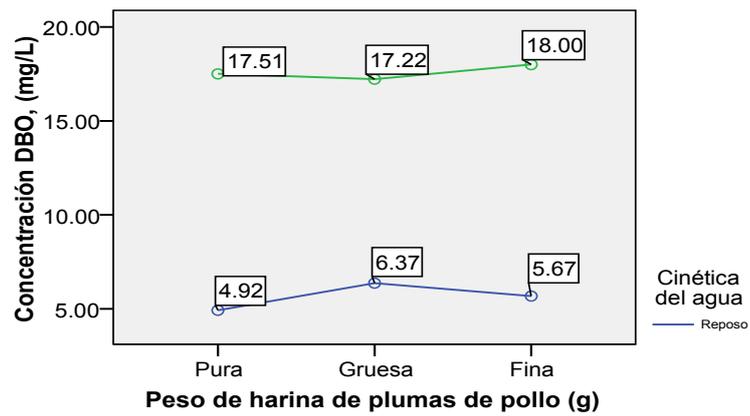
Alfa = 0.05

N: numero de tratamientos

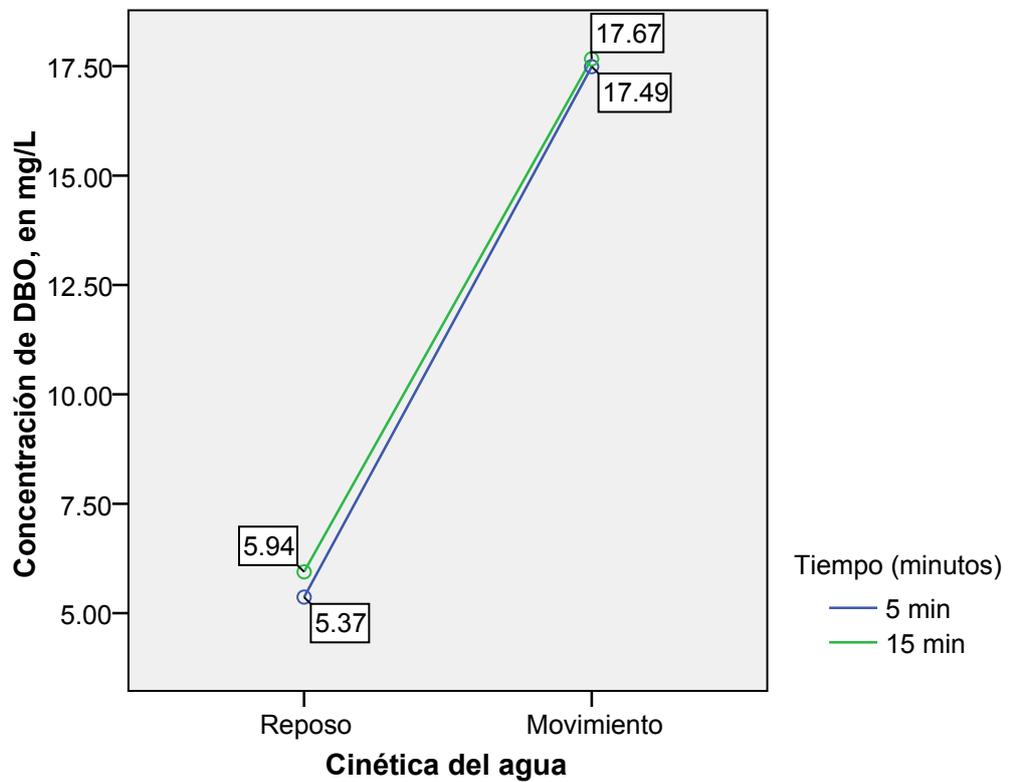
3.7.2 Demanda biológica de oxígeno (DBO)

En el grafico 3.4 a se observa que se tiene menor concentración de DBO al utilizar la cinética del agua en reposo que en movimiento, además que el tiempo de 5 y 15 min (Grafico 3.4 b) presentan similares concentraciones de DBO en el agua después de biorremediarla con los diferentes tamaños de partícula de la harina de plumas de pollo. El resto de medidas descriptivas se presentan en la parte respectiva del anexo G pág. IV

a)



b)



Gráficos 3.4 a y 3.4 b de perfil para la demanda biológica de oxígeno.

En el cuadro 3.3 ANOVA, se observa que el valor p es menor al 5% para el factor cinética esto implica que este factor influye significativamente en la medida del demanda biológica de oxígeno (DBO), de tal forma que con alguno de los dos tipos de la cinética en agua en reposo es diferente que con el agua en movimiento. A diferencia para los factores harina, tiempo y para todas las interacciones bidireccionales (harina*cinética, harina*tiempo y cinética*tiempo) entre los niveles fijados de los tres factores, el valor p es mayor que el 5% al igual que para la interacción tridireccional (harina*cinética*tiempo); con esto se concluye que el DBO máximo no se ve modificado mayormente al variar la harina y el tiempo manteniendo constante el otro factor, por lo que la harina y el tiempo no explica la variación presente en el DBO.

Cuadro 3.3 Análisis de varianza para la demanda biológica de oxígeno (DBO).

| Fuentes | Suma de cuadrados tipo III | gl | Media cuadrática | f | Valor p |
|-------------------------------|----------------------------|----|------------------|---------|---------|
| Harina | 2.903 | 2 | 1.451 | 0.275 | 0.762 |
| Cinética | 1.279.612 | 1 | 1.279.612 | 242.752 | 0.000 |
| Tiempo | 1.281 | 1 | 1.281 | 0.243 | 0.627 |
| Harina * Cinética | 5.225 | 2 | 2.613 | 0.496 | 0.615 |
| Harina * Tiempo | 1.513 | 2 | 0.756 | 0.143 | 0.867 |
| Cinética * Tiempo | 0.358 | 1 | 0.358 | 0.068 | 0.797 |
| Harina * Cinética * Tiempo | 0.147 | 2 | 0.074 | 0.014 | 0.986 |
| Error | 126.511 | 24 | 5.271 | | |
| Total | 6.274.943 | 36 | | | |

a. R cuadrado = .911 (R cuadrado corregida = .870)

De acuerdo a la prueba de DHS de Tukey cuadro 3.4 vemos que las medias de los diferentes tipos de harina no difieren entre sí y se encuentran agrupados en el mismo subconjunto, por lo que sería mejor trabajar con la harina sin tamizar debido a que su costo de producción sería menor.

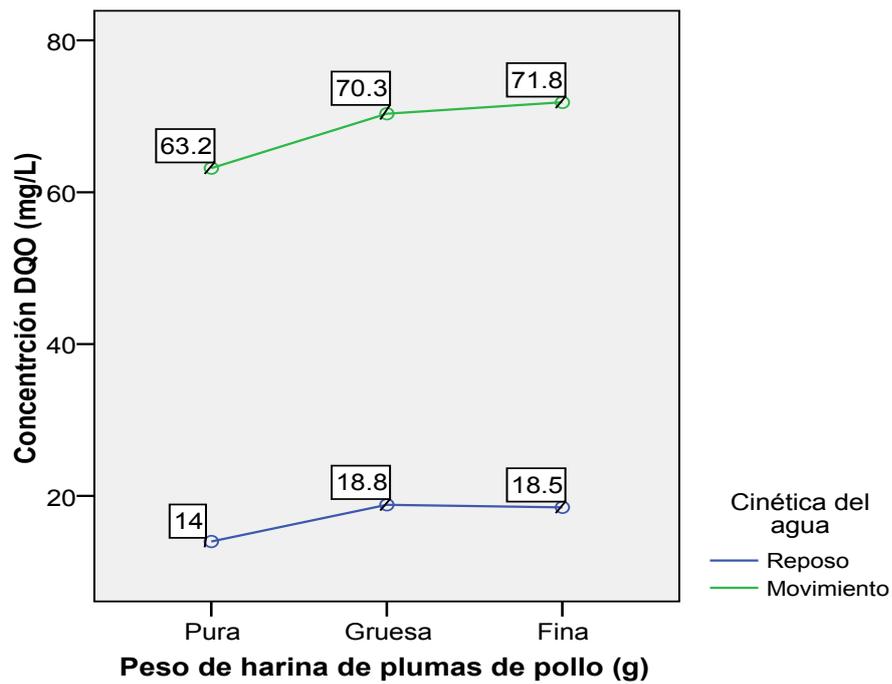
Cuadro 3.4 Prueba de DHS Tukey para la DBO.

| Harina de plumas de pollo (g) | | N | Subconjunto |
|-------------------------------|-------------|----|-------------|
| | | | 1 |
| DHS de Tukey | Sin Tamizar | 12 | 11.215 |
| | Gruesa | 12 | 11.795 |
| | Fina | 12 | 11.838 |

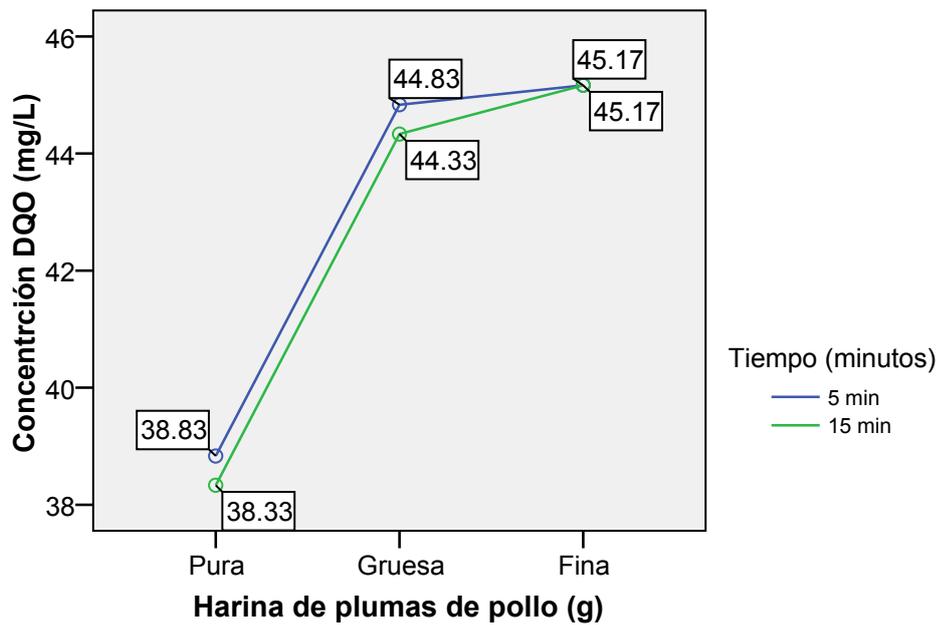
3.7.3 Demanda Química de Oxígeno

En el grafico 3.5 a y 3.5 b se puede apreciar que para cualquier tamaño de partícula de la harina de plumas de pollo utilizado en el estudio, es mucho mejor trabajar con agua en reposo que con agua en movimiento, puesto que existe una menor cantidad de demanda química oxígeno (DQO) promedio cuando la cinética del agua es el reposo y que el tiempo no influye en la reducción de la DQO. Esta situación se va a probar inferencialmente, más adelante. El resto de medidas descriptivas se presentan en la parte respectiva del anexo G pág. V.

a)



b)



Gráficos 3.5 a y 3.5 b de perfil para la demanda química de oxígeno.

En el cuadro 3.5 ANOVA, se observa que el valor p es menor al 5% para los factor cinética esto involucra que este factor influya significativamente en la medida de la demanda química de oxígeno (DQO), de tal forma que con alguno de los dos tipos de la cinética en agua en reposo es diferente que con el agua en movimiento. A diferencia para los factores harina, tiempo y para todas las interacciones bidireccionales (harina*cinética, harina*tiempo y cinética*tiempo) entre los niveles fijados de los tres factores, el valor p es mayor que el 5% al igual que para la interacción tridireccional (harina*cinética*tiempo); con esto se concluye que el DQO máximo no se ve modificado mayormente al variar la harina y el tiempo manteniendo constantes el otro factor, por lo que la harina y el tiempo no explica la variación presente en el DBO.

Cuadro 3.5 Análisis de varianza para la demanda química de oxígeno.

| Fuente | Suma de cuadrados tipo III | gl | Media cuadrática | f | Valor p |
|-------------------------------------|----------------------------|----|------------------|---------|---------|
| Harina | 318.722 | 2 | 159.361 | 2.243 | 0.128 |
| Cinética | 23.716.000 | 1 | 23.716.000 | 333.767 | 0.000 |
| Tiempo | 1.000 | 1 | 1.000 | 0.014 | 0.907 |
| Harina Cinética * | 26.167 | 2 | 13.083 | 0.184 | 0.833 |
| Harina Tiempo * | 0.500 | 2 | 0.250 | 0.004 | 0.996 |
| Cinética Tiempo * | 0.111 | 1 | 0.111 | 0.002 | 0.969 |
| Harina Cinética Tiempo * * | 2.389 | 2 | 1.194 | 0.017 | 0.983 |
| Error | 1.705.333 | 24 | 71.056 | | |
| Total | 91.648.000 | 36 | | | |

a. R cuadrado = .934 (R cuadrado corregida =.903)

De acuerdo a la prueba de DHS de Tukey, vemos que las medias de los diferentes tipos de harina (sin tamizar, gruesa y fina) no difieren entre sí y se encuentran agrupadas en el mismo subconjunto ver cuadro 3.6 se prefiere trabajar con la harina sin tamizar debido a que su costo de producción es menor.

Cuadro 3.6 Prueba de DHS Tukey para la demanda química de oxígeno.

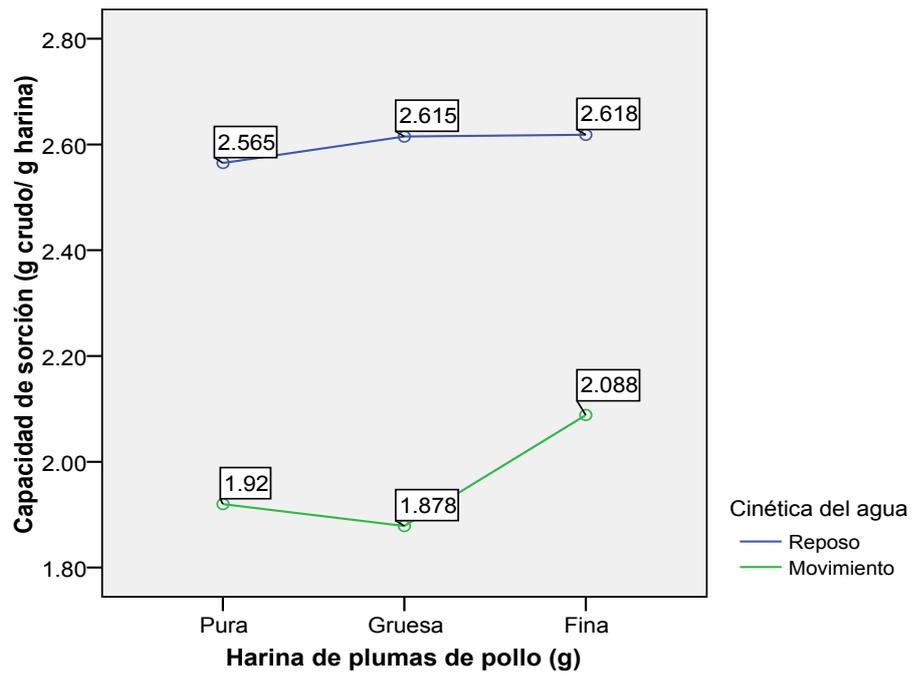
| Harina de plumas de pollo (g) | | N | Subconjunto |
|-------------------------------|-------------|----|-------------|
| | | | 1 |
| DHS de Tukey | Sin Tamizar | 12 | 38.583 |
| | Gruesa | 12 | 44.583 |
| | Fina | 12 | 45.167 |

3.7.4 Capacidad de Sorcion

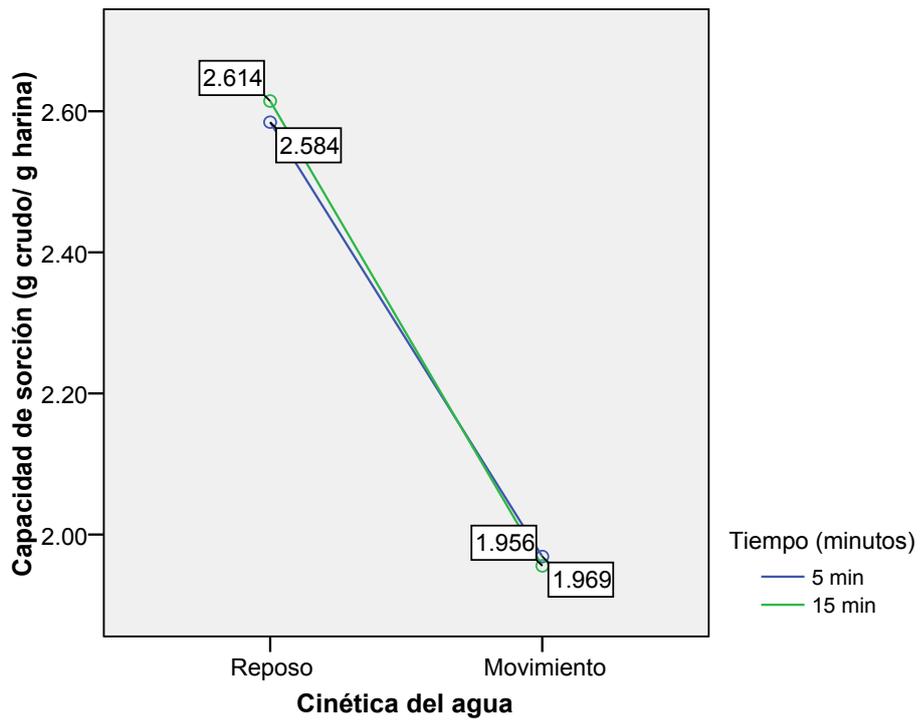
En el gráfico 3.6 a y 3.6 b se puede establecer que para cualquier tamaño de partícula de la harina de plumas de pollo mayor capacidad de sorción existe en el agua en reposo que en movimiento. El tiempo no influye en la capacidad de sorción e incluso son similares en reposo y movimiento. Esta situación se va a demostrar inferencialmente, más adelante. El resto de medidas descriptivas se presentan en la parte respectiva del anexo G pág.VII.

En el grafico 3.6 a, b y c existe una mejor adsorción en tiempo 15 min que en 5 min para la harina sin tamizar, mientras que para la adsorción para la harina gruesa y fina presentan una similar capacidad de sorción pero se descartaría analizando más adelante la prueba de tukey.

a)



b)



c)

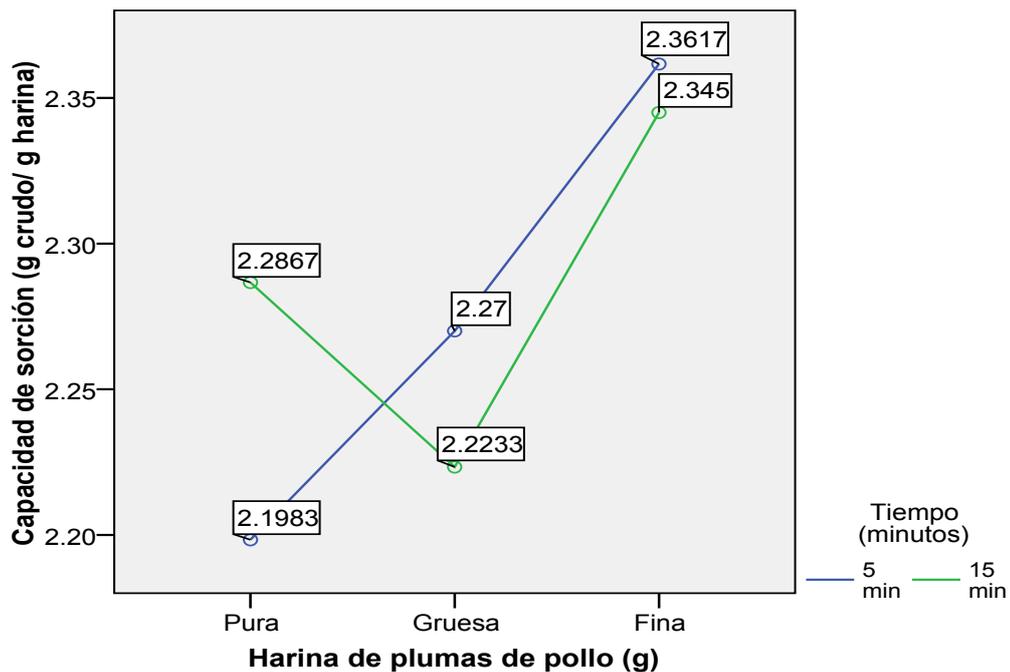


Gráfico 3.6 a, 3.6 b y 3.6 c de perfil para la capacidad de sorción.

En el cuadro 3.7 se puede apreciar que el valor p es menor al 5% para los factores harina y cinética; esto implica que dichos factores influyen significativamente en la medida de la capacidad de sorción de tal forma que con alguno de los tres tipos de harina (sin tamizar, gruesa y fina) se logra una mayor capacidad de sorción. Similarmente, la capacidad de sorción con el agua en reposo es distinto que con el agua en movimiento.

Para el factor tiempo y para todas las interacciones bidireccionales (harina*cinética, harina*tiempo y cinética* tiempo) entre los niveles fijados de los tres factores, el valor p es mayor que el 5% al igual que para la interacción tridireccional (harina*cinética*tiempo); con esto se concluye que la capacidad de sorción máxima no se ve modificada mayormente al variar el tiempo manteniendo constantes los otros dos factores.

Cuadro 3.7 Análisis de varianza para la capacidad de sorción.

| Fuente | Suma de cuadrados tipo III | gl | Media cuadrática | f | Valor p |
|----------------------------|----------------------------|----|------------------|---------|---------|
| Harina | 0.095 | 2 | 0.047 | 4.976 | 0.016 |
| Cinética | 3.654 | 1 | 3.654 | 384.007 | 0.000 |
| Tiempo | 0.001 | 1 | 0.001 | 0.066 | 0.800 |
| Harina * Cinética | 0.064 | 2 | 0.032 | 3.380 | 0.052 |
| Harina * Tiempo | 0.030 | 2 | 0.015 | 1.584 | 0.226 |
| Cinética * Tiempo | 0.004 | 1 | 0.004 | 0.444 | 0.512 |
| Harina * Cinética * Tiempo | 0.019 | 2 | 0.010 | 1.017 | 0.377 |
| Error | 0.228 | 24 | 0.010 | | |
| Total | 191.376 | 36 | | | |

R cuadrado = .944 (R cuadrado corregida = .919)

Se puede apreciar en la prueba de Tukey DHS ver cuadro 3.8, se observa que existe un primer subconjunto formado por harina sin tamizar y gruesa de 2.24, y un segundo subconjunto formado por la harina fina 2.35, siendo el mejor grupo el primero porque es menos costoso producir harina sin tamizar que gruesa y fina, y los resultados en adsorber el hidrocarburo mediano son parecidos.

Cuadro 3.8. Prueba de DHS Tukey para la capacidad de sorción.

| Harina de plumas de pollo (g) | | N | Subconjunto | |
|-------------------------------|-------------|----|-------------|-------|
| | | | 1 | 2 |
| DHS de Tukey | Sin tamizar | 12 | 2.243 | |
| | Gruesa | 12 | 2.247 | |
| | Fina | 12 | | 2.353 |

3.7.5 Estadística Comparativa

Con fin de evaluar la harina de plumas de pollo como un adsorbente orgánico de hidrocarburo mediano se procedió a comparar con el Reglamento de Operaciones Hidrocarburíferas (RAOH) y con Texto Unificado de Legislación Ambiental (TULAS) para indicar si causa un efecto positivo la biorremediación con la harina de plumas de pollo.

En el gráfico 3.7 se puede apreciar que el límite permisible del O.D es de 5 a 6 mg/L (Anexo A1 pág. I), y que existe mayor cantidad de oxígeno en los tratamientos A hasta F para la cinética en reposo y menor cantidad de oxígeno disuelto en la cinética del agua en movimiento.

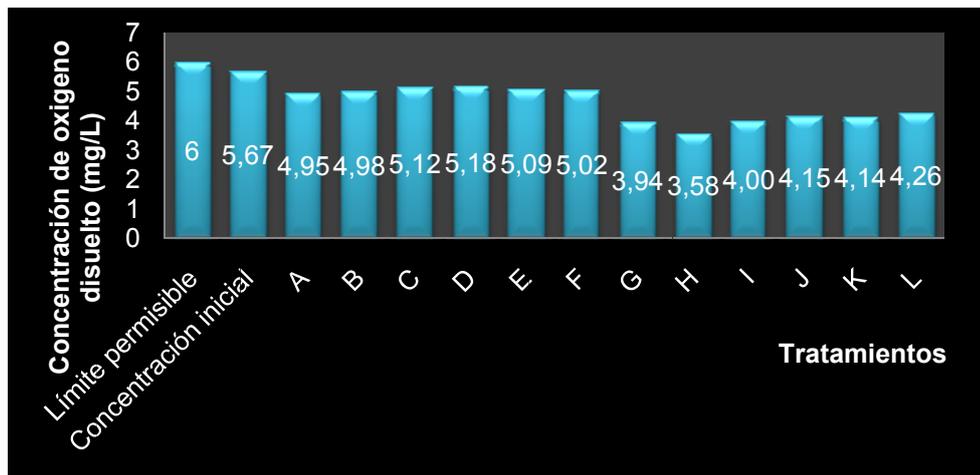


Gráfico 3.7 Concentración de oxígeno disuelto mg/L antes y después de cada tratamiento.

En el gráfico 3.8 se aprecia que el límite permisible de la DQO (Anexo A1 pág. I) es de 30 mg/L, existe un valor referencial antes del tratamiento para la DQO en agua en reposo y movimiento que es de 70 mg/L y 140 mg/L respectivamente y después de realizar la biorremediación con la harina de plumas de pollo, se puede apreciar su disminución cuantitativamente para los tratamientos en reposo.

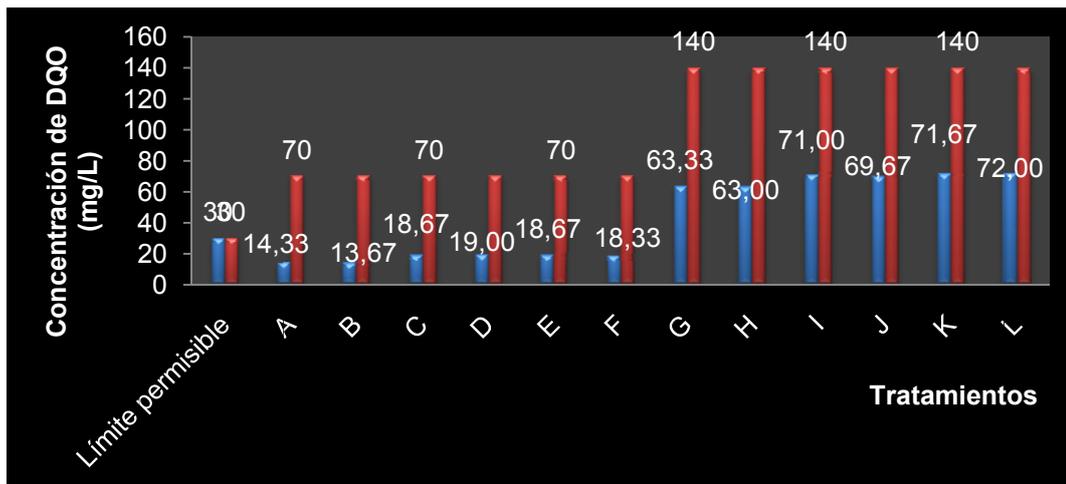


Gráfico 3.8 Concentración de la Demanda Química de oxígeno, en mg/L antes y después de cada tratamiento.

En el gráfico 3.9 el límite permisible es de 40 mg/L, se puede ver que para los tratamientos de la G hasta la L después de realizar la biorremediación y de la recogida de los sedimentos existe un aumento del DBO, para el caso de la cinética en reposo existe una disminución de DBO.

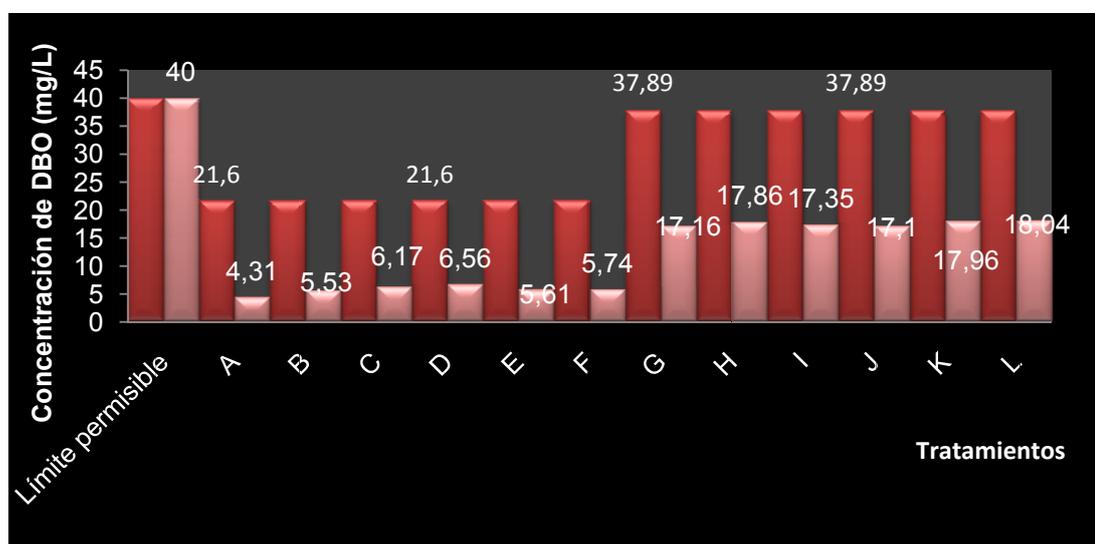


Gráfico 3.9 Concentración de la demanda biológica de oxígeno, en mg/L antes y después de cada tratamiento.

En el grafico 3.10 se observar que el límite permisible de plomo en el agua es de 0.5 mg/L, y que la harina de plumas de pollo adsorbe plomo debido a que

disminuye su concentración inicial de 0.516 mg/L hasta 0.11 mg/L en cinética en reposo y movimiento hasta 0.27 mg/L.

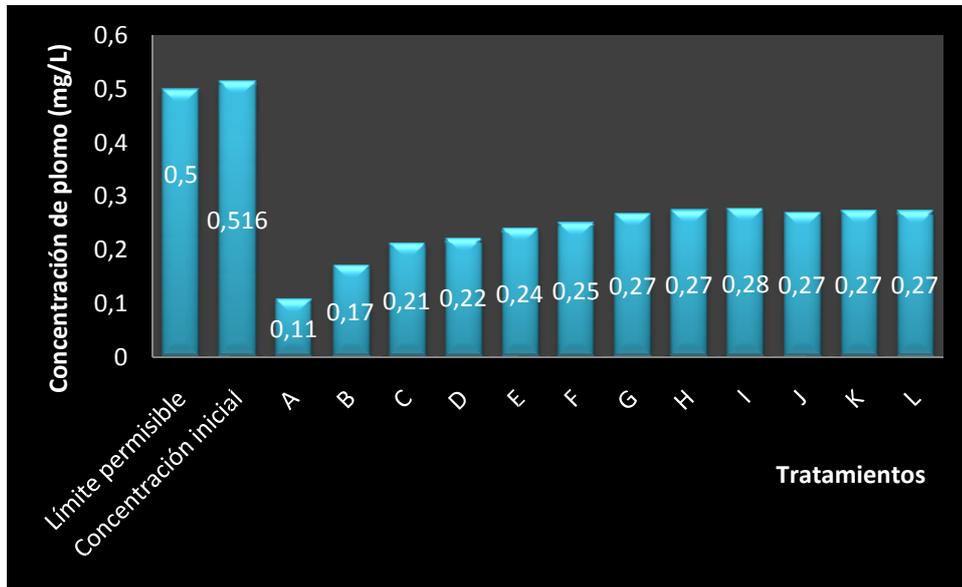


Gráfico 3.10 Concentración de plomo mg/L antes y después de los tratamientos

Se puede observar grafico 3.11 que el arsénico presenta una concentración inicial de 0.35 mg/L y que la harina de plumas de pollo adsorbe poca cantidad de arsénico e incluso es mayor al límite permisible 0.1 mg/L.

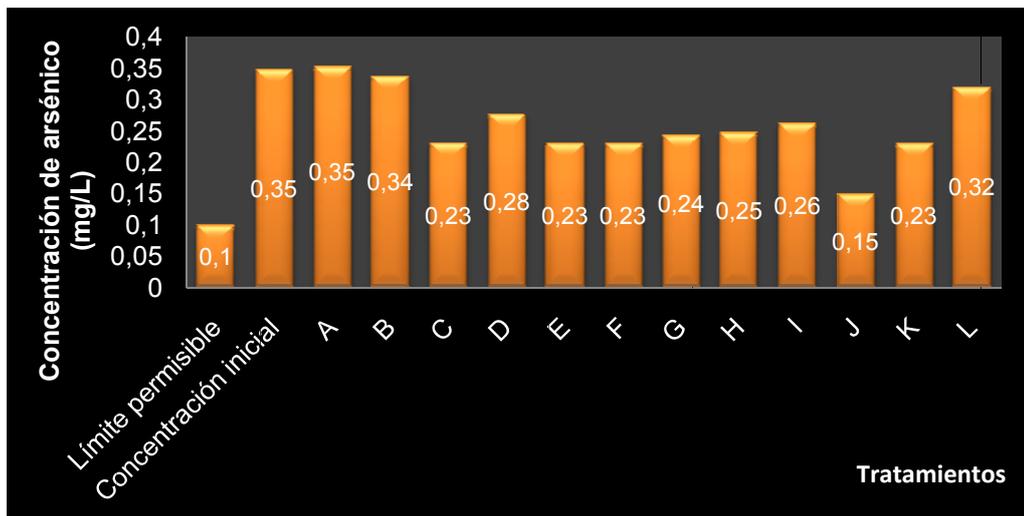


Gráfico 3.11 Concentración de arsénico antes y después de los tratamientos

En el grafico 3.12 se aprecia que existe un valor cuantitativo bajo de hidrocarburo totales de petróleo (TPH) en los tratamientos A1, C3 Y F2 y menor que la concentración inicial 98 mg TPH/L pero a la vez es mayor que el limite permisible (0.3 mg/L).

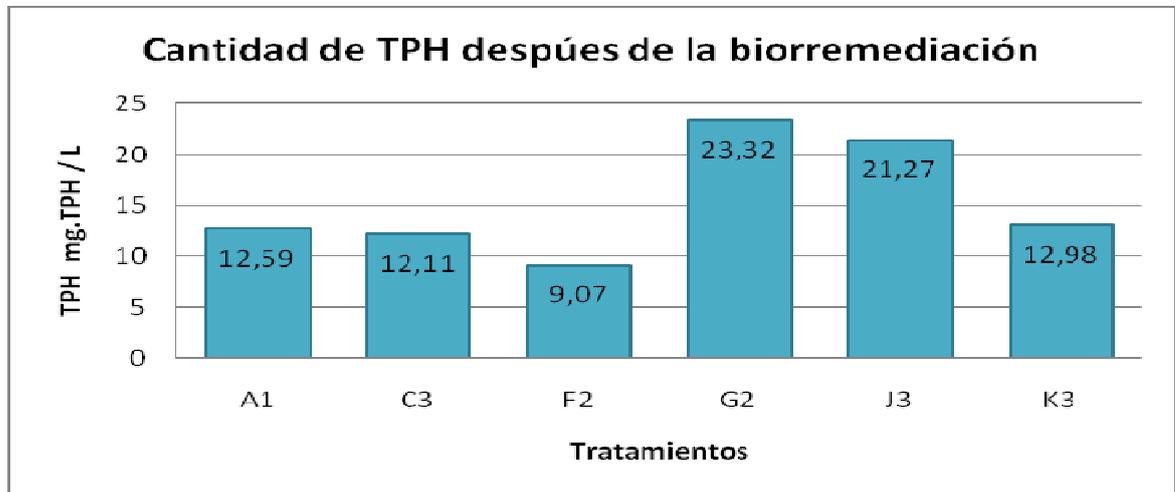


Gráfico 3.12 Cantidad de TPH en el agua de biorremediada con harina de plumas de pollo.

En el anexo G pág. VIII se puede observar que la turbidez en los tratamientos de harina sin tamizar, gruesa y fina con cinética del agua en reposo y en tiempo 5 y 15 min (A hasta F) es menor que en la cinética en movimiento (G hasta L).

En el anexo G pág. IX, se puede ver que aunque los sólidos suspendidos para todos los tratamientos de la A hasta la L, se encuentran bajo el limite permisible que es de 100 mg/L.

El anexo G pág. X existe un aumento en la conductividad eléctrica de igual manera para los sólidos disueltos totales en todos los tratamientos se encuentran bajo el limite permisible de acuerdo al reglamento 1215 RAOH y del Tulas (Anexo A).

CAPÍTULO IV DISCUSION

Las plumas de pollo pueden ser manejadas a una temperatura de 146°C para que la desnaturalización no pueda afectarlas, es por eso que en este trabajo se utilizó una temperatura de 125°C para inhibir el crecimiento de microorganismos que pudiera estar presente en las plumas de pollo como lo menciona la Federación Nacional de Avicultura, con un tiempo de secado de 30 minutos como se justifica en el anexo D1 pág. I

Al principio se utilizó tamices Tylor ASTM de 60, 70, 100, 130, 150 y 170 para obtener los tamaños de partícula deseados, pero debido a la consistencia pegajosa de la harina se producía taponamiento en las mallas, por esta razón no fue rentable producir los diferentes tamaños de partícula de la harina debido a que en 5 horas de estar los tamices en el tamiz vibratorio, únicamente se obtuvieron 15 g, por lo que se optó por utilizar las mallas propias del molino de cuchillas marca Thomson de 1 y 0.25 mm respectivamente, en el cual después de 5 horas de tamizar se obtiene 5.5 Kg de harina de plumas de pollo disminuyendo el tiempo de producción y la pérdida de harina que se quedaba en los tamices.

En la tabla 4.1 se puede comparar propiedades físicas de los diferentes tamaños de partícula de la harina de plumas de pollo, con otro adsorbente natural y comercial según Ortiz 2006, en la cual la flotabilidad y flamabilidad son iguales y no existe diferencia cuantitativa con la densidad aparente entre los diferentes adsorbentes.

Tabla 4.1 Comparación de las propiedades físicas de los adsorbentes.

| Adsorbentes | Flotabilidad | flamabilidad | Densidad aparente(mg/L) |
|--------------------|---------------------|---------------------|--------------------------------|
| Sin tamizar | Si | No | 0.0953 |
| Gruesa | Si | No | 0.1043 |
| Fina | Si | No | 0.1116 |
| Fibra de coco | Si | No | 0.112 |
| Comercial | Si | No | 0.124 |

En cuanto a la composición química de la harina de plumas de pollo se obtuvo datos similares a los citados por Bauza 2007, quien asegura que la proteína cruda es de 82.96%; mientras que los datos obtenidos en el estudio de proteína cruda para la harina sin tamizar es de 79.2%, harina gruesa 76.2% y la harina fina 74.2% esta diferencia podría deberse a la alimentación, que tienen los pollos en los diferentes planteles avícolas.

La diferencia de proteína cruda entre los tipos de harina de plumas de pollo (sin tamizar, gruesa y fina) probablemente se deba a que en la molienda el raquis no se tritura completamente quedando en su mayor parte en la harina sin tamizar.

La diferencia de proteína cruda entre los diferentes tamaños de partícula de la harina de plumas de pollo, probablemente se debe a que el raquis no se tritura completamente quedando mayor cantidad de proteína en la harina sin tamizar, esto se compararía realizando un análisis químico del raquis de la pluma de pollo.

El trabajo se realizó a nivel de laboratorio por la imposibilidad de conseguir el petróleo, ya que según la leyes ecuatorianas no permiten

que este tipo de combustibles se transporten en vehículos particulares, además su venta es restringida en el país para el público en general, debido a esto la empresa petrolera proporcionó poca cantidad de crudo, motivo por el cual las pruebas se realizaron únicamente a nivel de laboratorio.

Para la optimización de la cantidad de petróleo que se tenía se hicieron pruebas (tabla 3.3), para trabajar únicamente con la mínima cantidad para poder racionalizarlo, la cual dio como resultado de que se necesita 25 mL de crudo para contaminar 5.75 L de agua dando un valor de DQO de 70 mg/L produciendo de esta manera un menor impacto ambiental y daño a la salud al estar en contacto con el hidrocarburo.

En las pruebas de contaminación que dependían de la cinética del agua (Tabla 3.4) se observa que existe mayor cantidad de DQO (140 mg/L) para el mismo volumen de crudo (25 mL) en la cinética del agua en movimiento, esto se debe a que el hidrocarburo, al estar en agitación por 30 min tiene mayor contacto con el agua y algunos de los compuestos del hidrocarburo tienden a solubilizarse en la misma como lo menciona Villacís 2007.

En el caso de la sorción de crudo con harina de plumas de pollo utilizando cinética en movimiento la masa de crudo con harina tiene una buena superficie de contacto pero se forma un sólido que gana peso y hace que se deposite en el fondo de la piscina, lo cual no es conveniente para la bioremediación por lo que se decidió agitar la piscina y después colocar la harina de plumas de pollo.

La capacidad de sorción de la harina de plumas de pollo refleja un desempeño no muy aceptable frente a otros adsorbentes naturales y comerciales; para la harina de plumas de pollo con granulometría sin tamizar en reposo es de 2.565 veces su peso (gramos de hidrocarburo/ gramos de material seco), gruesa 2.615 veces su peso y la fina 2.618 veces su peso al compararla con otros tipos de materiales como la fibra de coco 16.77 veces su peso y el material comercial de 5.74 veces su peso como menciona Ortiz (2006), la ventaja sería la facilidad de conseguir la materia prima para elaborar la harina de plumas de pollos disminuyendo de esta manera la contaminación.

La capacidad de sorción de los diferentes tamaños de partícula de la harina de plumas de pollo, adsorbe mayor cantidad de hidrocarburo que agua, esto podría deberse a que la pluma está compuesta por una proteína hidrofóbica (queratina), como lo menciona la Federación Nacional de Avicultura.

De acuerdo a las experimentaciones, se pudo observar (Fig. 3.4 a Fig. 3.12) que 11 g es la cantidad adecuada de harina de plumas de pollo, en los tres tamaños de partícula (sin tamizar, gruesa y fina) para remediar el agua contaminada, dicha cantidad cubre toda la superficie de la piscina, lo que no sucede con 8 y 9 g que por más de que tengan mayor capacidad de sorción son insuficientes, ya que existen zonas que no se encuentran cubiertas por la harina y al remover el agua, la piscina queda contaminada. Sin embargo si se pone cantidades mayores de harina 20 y 15 g, es un desperdicio, porque cubre toda la piscina y adsorbe menor cantidad de hidrocarburo (Tabla 3.5)

El tiempo de contacto en los tres tipos de harina de plumas de pollo está entre 15 y 30 min (Tabla 3.7) pero se escogió el tiempo de 15 min porque en la realidad lo que se desea es que el adsorbente, adsorba lo más rápido posible para limpiar la piscina contaminada con hidrocarburo, puesto que a mayor tiempo de contacto del hidrocarburo mediano con el agua se puede contaminar más.

Según Brown (2004) el límite permisible del oxígeno disuelto para que puedan sobrevivir organismos y microorganismos es de 5 a 6 mg/L. Para la cinética de agua en reposo el O.D es de 5.02 mg/L encontrándose dentro del rango, mientras que para la cinética en movimiento el O.D es de 4.15 mg/L encontrándose fuera del rango, esto se debe a que el agua se contamina mucho más rápido.

Se tomó un valor referencial de DQO y DBO al inicio de todos los tratamientos tanto para la cinética del agua en reposo como en movimiento, En el caso de la DBO las pruebas no podían realizarse debido a que el país atravesaba por problemas de racionamientos eléctricos, motivo por el cual no se pudo utilizar el método oximétrico de la MERCK con el que contaba el laboratorio para determinar el valor de DBO, enviándose las muestras a ser analizadas al laboratorio de Oferta y Servicios Profesionales de la Universidad Central Facultad de Ciencias Químicas y en el caso de la DQO el costo del kit era demasiado costoso.

Se obtuvo en el ensayo, una reducción de plomo estadísticamente de 0.11 mg/L en cinética en reposo y movimiento hasta 0.27 mg/L, lo que asumiríamos que el agua no se encuentra contaminada con plomo y que además concuerda con los límites permisibles del plomo que es de 0.51 mg/L según el Reglamento 1215.

La concentración de arsénico tanto para la cinética del agua en reposo como en movimiento (0.28 mg/L y 0.24 mg/L) se encuentra sobre el límite permisible 0.1 mg/L, lo que indica que no existió remoción. Según Orozco (2006) el arsénico tiene una afinidad por la queratina más que otros tejidos tales como el riñón, tubo digestivo y pulmones motivo por el cual se deduce que el tiempo de contacto de la harina de plumas con el crudo debe ser mayor.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

La harina producida de plumas de pollo adsorbe el hidrocarburo, por lo tanto sirve para biorremediación.

El tiempo de secado óptimo para la producción de harina de pollo es de 30 min, lo que concuerda con la técnica usada por Macedo 2008.

La harina sin tamizar contiene mayor cantidad de proteína cruda, 79.2 g y su densidad promedio es 0.103 g/mL, razón por la que flota sobre el agua e hidrocarburo y no es inflamable.

A mayor volumen de hidrocarburo mediano en el agua mayor es su contaminación, se necesitan mínimo 25 mL de crudo para que la DQO sea de 70 mg/L en el agua en reposo y 140 mg/L en el agua en movimiento.

La capacidad de sorción (2.285 g H.C/ g H.S) es menor cuando la harina de plumas de pollo es 20 g, y es mayor la capacidad de sorción (2.86 g H.C/ gH.S) cuando existe menor cantidad de harina 8 g, para cualquier tipo de harina de plumas. Pero la cantidad más idónea es 11 g, para adsorber 25 mL de hidrocarburo porque cubre toda la piscina como se pudo apreciar en las figuras 3.4 a 3.12

Existe un mayor contacto de la harina de plumas de pollo cuando se encuentra movimiento, pero es mejor trabajar en la cinética en reposo porque no produce sólidos sedimentables.

Para la mayoría de los tratamientos realizados es mejor trabajar con la cinética del agua en reposo que en movimiento como se pudo apreciar en esta tesis y se podría utilizar cualquier tipo de harina de plumas de pollo, pero lo más recomendable sería usar harina sin tamizar por el costo de producción es menor.

La caracterización del hidrocarburo dio una densidad °API de 22.5, la misma que se encuentra dentro del rango según Wuttie 1971, y las Normas ASTM STANDARDS F-726 con lo cual se afirma que el hidrocarburo utilizado es mediano.

La biorremediación con harina de plumas de pollo, produjo una disminución de la contaminación para la cinética del agua en reposo en los siguientes parámetros: DQO (70 a 17.11) mg/L, DBO (21.6 a 5.65) mg/L, O.D 5.06 mg/L y plomo (0.516 a 0.20) mg/L encontrándose dentro del límite permisible establecido por el Reglamento de Operaciones Hidrocarburíferas 1215.

La harina de plumas de pollo no remueve arsénico tanto para la cinética en reposo como en movimiento y es mayor al límite permisible 0.1 mg/L.

CAPÍTULO VI. RECOMENDACIONES

Estudiar el comportamiento de la harina de plumas de pollo como un adsorbente de hidrocarburo en el suelo y en agua salada.

Estudiar el comportamiento al combinar la harina de plumas de pollo con cepas bacterianas que degraden queratina y crudo.

Biorremediar aguas contaminadas con hidrocarburo pesado y liviano utilizando harina de plumas de pollo.

Utilizar otros tipos de adsorbentes orgánicos como la fibra de coco, el aserrín, viruta de la melaza etc. y realizar una mezcla con la harina de plumas de pollo para mejorar de esta manera la capacidad de sorción.

Hacer el escalamiento a una planta piloto para el tratamiento de crudo con harina de plumas de pollo.

Se recomienda usar otra clase de plumas de aves para la biorremediar aguas contaminadas con crudo.

Utilizar la harina de plumas de pollo para elaboración de plástico biodegradable y también para adsorber otros metales pesados que pueden estar presente en el agua.

CAPÍTULO VII. BIBLIOGRAFÍA

1. (ATSDR) Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. 1998. Reseña Toxicológica de los Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH)
2. ARELLANO, J. (2002). Introducción de la Ingeniería Ambiental. México: Alfaomega. Grupo editor, S.A de C.V.
3. ARMIJOS S, Dominguez A, Estrada L: Análisis de la Avicultura Ecuatoriana. Obtenido el 20 de julio del 2009 de: <http://74.125.95.132/search?q=cache:wsaHlxjyTXQJ:www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/743/1/1392.pdf+ANALISIS+DE+LA+AVICULTURA+ECUATORIANA&cd=2&hl=es&ct=clnk&gl=ec>
4. ASTM Standards: F726 – 06. Standard Test Method for Sorbent Performance of.
5. BAUZA, R., Bratschi, C., González, A., Hirigoyen, A. Scaglia, L., Sierra, F. (2007). Evaluación de la inclusión de dos tipos de hidrolizado de plumas en dietas de cerdos en engorde. Sitio Argentino de Producción Animal Cusco Perú. pp 1- 5.
6. BIORREMEDIACION
http://74.125.47.132/search?q=cache:l2Wv8SkjzHUU:www2.uah.es/tejedor_bio/bioquimica_ambiental/biorremediacion.pdf+power+point+antecedentes+de+la+biorremediacion&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=ec

7. BRENNAN J. G. Las Operaciones de la Ingeniería de los Alimentos. Editorial Acribia. 1998.
8. COELLO, N., Vidal, L., Bretaña, A. (2000). Aislamiento de una cepa de Kocuria Rosea Degradadora de Plumas de Aves de Corral. Laboratorios de Procesos Biotecnológicos Caracas - Venezuela.
9. Comercio. Nueva Loja. Extraído el 20 de abril, 2009, de: http://www.elcomercio.com/solo_texto_search.asp?id_noticia=139555&anio=2008&mes=8&dia=26.
10. Constitución 2008. Publicada en el Registro Oficial. Montecristi – Ecuador.
11. Desechos sólidos orgánicos <http://www.desechos-solidos.com/desechos-solidos-organicos.html>.
12. Desperdicios de pollo van a parar al río. Diario Extra Informa Primero y Mejor. Guayaquil. Obtenido el 8 de abril, 2009, de: <http://www.extra.ec/noticias.asp?codigo=2008111620412>
13. Efecto de los residuales avícolas en el ambiente Yaneisy García, A. Ortiz y Esmeralda Lon Wo, Instituto de Ciencia Animal, Cuba.
14. En Los Bajos Las Palmas: Contaminación a causa de granjas Diario HOY. Obtenido el 8 de abril, 2009, de:
15. Federación Nacional de Avicultura. (1996). Estadísticas producción de carne de pollo. Venezuela. 1er. Semestre. REVISTA FENAVI. 55pp.

16. GUTIÉRREZ HUMBERTO, Análisis y diseño de experimentos McGraw- Hill Interamericana 2008.
17. Harrap, B. Woods, E. Soluble derivatives feather keratin. (1964). Molecular weight and conformation. Biochem. J. 92: 19-26.
18. Katherine Torres Delgado, Tatiana Zuloaga Montoya. Tesis. Biorremediación de Suelos Contaminados por Hidrocarburos. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas Ingeniera Química, Medellín, 2009.
19. KEMMERR F, McCALLION J, " Manual del Agua Su Naturaleza, Tratamiento y aplicaciones". Tomo II. Ed. McGraw-Hill México D.F; pág.17-1,17-2. 1995.
20. La contaminación por hidrocarburos es principalmente marina, debido al tráfico de buques y a que generalmente las refinerías están situadas en la costa. Extraído el 29 de mayo 2009 <http://www.Greenpeace.org/espana/contaminaci-n/contaminaci-refineras/queefectos-tiene-su-contamin>
21. Ley de prevención y Control de la contaminación Ambiental. Registro Oficial Suplemento 418 Ecuador. (Quito, 10 de Septiembre del 2004).
22. Macedo, M., Segura, R., Pinero, J., Coello, N. (2002). Obtención de un hidrolizado proteico por fermentación sumergida de plumas utilizando Bacillus spp. FCV-LUZ / Vol. XII, N° 3, 214-220, 2002 pp 214 - 219.

23. Me huele a pollo y no es broster. Obtenido el 10 de noviembre del 2008 de: http://www.ultimasnoticias.ec/noticiaUN.asp?id_noticia=22171&id_seccion=2
24. Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA AWWA WPCF. 17 Edición, 1992.
25. Nativos de Amazonía denuncian contaminación a Occidental y Pluspetrol. (9 de Agosto del 2006). Diario El Comercio Extraído el 20 de abril, 2009, de: http://www.elcomercio.com/soltexto_search.asp?idnoticia=40413&anio=2006&mes=9&dia=8
26. OROZCO, Carmen. Pérez Antonio, Rodríguez Francisco, Alfayate J. Contaminación Ambiental. Una visión desde la Química. Editorial Thomson. Pág. 68. 2003.
27. Ortiz D, Andrade F, Rodríguez G, Montenegro L, (2006). Bogota- Colombia, Sorbent biomaterials for cleaning up hydrocarbon spills on soil and bodies of water. Ing. Investig. vol.26 no.2.
28. Petroleum Measurement Tables. American Petroleum Institute. 1952. Reduction of observed API Gravity to API Gravity at 60°F. pág. 30 y 31 U.S.A
29. RAMOS Raúl, Sepúlveda Rubén y Villalobos Francisco. El Agua en el Medio Ambiente. Muestreo y Análisis. Editorial PYV. Universidad autónoma de California. <http://books.google.com.ec/books?id=wCXMVf9bvplC&pg=PA23&lpg=PA23&dq=EL+AGUA+EN+EL+MEDIO+AMBIENTE+Muestreo+y+an%C>

ANEXOS

ANEXOS A. Normas y Leyes usadas para evaluar la contaminación del agua en el Ecuador.1

A.1 Límites permisibles en el punto de control en el cuerpo receptor (inmisión).

| Parámetro | Expresado en | Unidad | Valor límite permisible | Promedio anual | Destino de descarga |
|--------------------------------------|--------------|--------|-------------------------|----------------|---------------------|
| Temperatura | | °C | + 3°C | | General |
| Potencial hidrógeno | pH | | 5<pH> 8 | 5<pH> 8 | General |
| Conductividad eléctrica | CE | mg/L | <170 | <120 | Continente |
| Hidrocarburos Totales | TPH | mg/L | <0.5 | <0.3 | General |
| Demanda Química de oxígeno | DQO | mg/L | <30 | <20 | General |
| Hidrocarburo Aromáticos Policíclicos | HAP's | mg/L | <0.0003 | <0.0002 | General |

Fuente: Reglamento Ambiental para Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador.

Tabla 4b Anexo 2 pág. 56.

A.2 Parámetros adicionales y límites permisibles para aguas y descargas líquidas en la exploración, producción, industrialización, transporte, almacenamiento y comercialización de hidrocarburos y sus derivados.

| Parámetro | Expresado en | Unidad | Valor límite permisible |
|-------------------------------|-------------------------------|--------|-------------------------|
| Cloruros | Cl | mg/L | <2500 |
| Sulfatos | SO ₄ ⁻² | mg/L | <1200 |
| Fluoruros | F | mg/L | <5.0 |
| Cadmio | Cd | mg/L | <0.1 |
| Mercurio | Hg | mg/L | <0.01 |
| Níquel | Ni | mg/L | <2.0 |
| Selenio | Se | mg/L | < 0.5 |
| Cianuros libres | CN | mg/L | < 0.05 |
| Sulfuro de hidrógeno | H ₂ S | mg/L | < 0.0002 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno | DBO5 | mg/L | <40 |

| Parámetro | Expresado en | Unidad | Valor límite permisible |
|-----------|--------------|--------|-------------------------|
| Fenoles | | mg/L | <0.15 |

Fuente: Reglamento Ambiental para Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador. Tabla 10 Anexo 3 pág. 59.

A.3 Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

| Parámetros | Expresado como | Unidad | Límite máximo permisible |
|--|-------------------------------|-------------------|-----------------------------------|
| Aceites y Grasas. | Sustancias solubles en hexano | mg/L | 0,3 |
| Aldehídos | | mg/L | 2,0 |
| Aluminio | Al | mg/L | 5,0 |
| Arsénico total | As | mg/L | 0,1 |
| Bario | Ba | mg/L | 2,0 |
| Boro total | B | mg/L | 2,0 |
| Cadmio | Cd | mg/L | 0,02 |
| Cianuro total | CN ⁻ | mg/L | 0,1 |
| Cloro Activo | Cl | mg/L | 0,5 |
| Cloruros | Cl ⁻ | mg/L | 1 000 |
| Cobre | Cu | mg/L | 1,0 |
| Cobalto | | mg/L | 0,5 |
| Coliformes Fecales | Colonias | UFC/100 mL | ¹ Remoción > al 99,9 % |
| Color real | Color real | unidades de color | * Inapreciable en dilución: 1/20 |
| Compuestos fenólicos | Fenol | mg/L | 0,2 |
| Cromo hexavalente | Cr ⁺⁶ | mg/L | 0,5 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días) | D.B.O ₅ . | mg/L | 100 |
| Demanda Química de Oxígeno | D.Q.O. | mg/L | 250 |

¹ Aquellos regulados con descargas de coliformes fecales menores o iguales a 3 000, quedan exentos de tratamiento.

| Parámetros | Expresado como | Unidad | Límite máximo permisible |
|-----------------------------------|------------------------------|--------|--------------------------|
| Dicloroetileno | Dicloroetileno | mg/L | 1,0 |
| Estaño | Sn | mg/L | 5,0 |
| Fluoruros | F | mg/L | 5,0 |
| Fósforo Total | P | mg/L | 10 |
| Hierro total | Fe | mg/L | 10,0 |
| Hidrocarburos Totales de Petróleo | TPH | mg/L | 20,0 |
| Manganeso total | Mn | mg/L | 2,0 |
| Materia flotante | Visibles | | Ausencia |
| Mercurio total | Hg | mg/L | 0,005 |
| Níquel | Ni | mg/L | 2,0 |
| Nitratos + Nitritos | Expresado como Nitrógeno (N) | mg/L | 10,0 |
| Plomo | Pb | mg/L | 0,2 |
| Potencial de hidrógeno | Ph | | 5-9 |
| Selenio | Se | mg/L | 0,1 |
| Sólidos sedimentables | | ml/L | 1,0 |
| Sólidos suspendidos Totales | | mg/L | 100 |
| Sólidos totales | | mg/L | 1 600 |
| Sulfatos | SO ₄ ⁼ | mg/L | 1000 |
| Sulfitos | SO ₃ | mg/L | 2,0 |

Fuente. Norma de Calidad ambiental y descarga TULAS. Tabla 12 pág. 41

ANEXO B. Modelos estadísticos utilizados en el presente estudio.

Diseño factoriales con tres factores

Este diseño investiga la influencia de tres factores (A, B y C) sobre una o más variables de respuesta, y el número de niveles de prueba en cada uno de los factores es a, b y c respectivamente, se puede construir el arreglo factorial a x b x c, que consiste de a x b x c tratamientos o puntos experimentales.

Modelo estadístico

El modelo estadístico es una herramienta pero no es parte de la experimentación, que consiste en un diseño factorial a x b x c como el del estudio, se supone que el comportamiento de la respuesta Y puede describirse mediante el modelo de efecto dado por:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl};$$
$$i = 1, 2, \dots, a; j = 1, 2, \dots, b; k = 1, 2, \dots, c; l = 1, 2, \dots, n$$

Donde μ es la media general, α_i es el efecto del nivel *i*-ésimo del factor A, β_j es el efecto del nivel j del factor B y γ_k es el efecto del nivel k en el factor C; $(\alpha\beta)_{ij}$, $(\alpha\gamma)_{ik}$ y $(\beta\gamma)_{jk}$ representan efectos de interacciones dobles (de dos factores) en los niveles *ij*, *ik*, *jk*, respectivamente, y $(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$ es el efecto de interacción triple en la combinación o punto *ijk*; ε_{ijkl} representa el error aleatorio en la combinación *ijkl* y *l* son las repeticiones o réplicas del experimento. Todos los efectos cumplen la restricción de sumar cero, es decir, son desviaciones relacionadas con la media general μ .

Hipótesis de interés

El estudio factorial de tres factores (A, B y C) permite investigar el efecto: A, B, C; AB, AC, BC y ABC donde el nivel de desglose con el que pueden estudiarse depende del número de niveles utilizados en cada factor.

En resumen se tiene 7 factores de interés sin considerar desglose, y con ellos se pueden plantear las siete hipótesis nulas H_0 : Efecto A=0, H_0 : Efecto B=0, H_0 : Efecto ABC=0, cada una aparejada con su correspondiente hipótesis alternativa. El ANOVA para probar estas hipótesis se presenta en la siguiente tabla:

Al efecto cuyo valor p sea menor al valor especificado para alfa, se declara estadísticamente significativo o se dice que está activo. Las sumas de cuadrados son muy similares a las obtenidas para dos factores como se muestra a continuación con las siguientes fórmulas.

$$SC_{ABC} = \sum_{I=1}^A \sum_{J=1}^B \sum_{K=1}^C \sum_{l=1}^n Y_{jkl}^2 - \frac{Y_{\dots\dots\dots}^2}{N}$$

Donde $N=abcn$ es el total de observaciones en el experimento. Las sumas de cuadrados de efectos son:

$$SC_A = \sum_{i=1}^a \frac{Y^2}{bcn} - \frac{Y_{\dots\dots\dots}^2}{N}; SC_B = \sum_{j=1}^b \frac{Y^2}{acn} - \frac{Y_{\dots\dots\dots}^2}{N}; SC_C = \sum_{k=1}^c \frac{Y^2}{abn} - \frac{Y_{\dots\dots\dots}^2}{N};$$

$$SC_{AB} = \sum_{I=1}^a \sum_{J=1}^b \frac{Y^2_{ij..}}{cn} - \frac{Y_{\dots\dots\dots}^2}{N} - SC_A - SC_B;$$

$$SC_{AC} = \sum_{I=1}^a \sum_{k=1}^c \frac{Y^2_{ik..}}{bn} - \frac{Y_{\dots\dots\dots}^2}{N} - SC_A - SC_C;$$

$$SC_{BC} = \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \frac{Y^2_{jk..}}{an} - \frac{Y_{\dots\dots\dots}^2}{N} - SC_B - SC_C;$$

Tabla. ANOVA para el diseño factorial a x b x c.

| FV | SC | GL | CM | FO | VALOR P |
|------------|-------------------|-----------------|-------------------|-------------------------------------|--------------------|
| Efecto A | SC _A | a-1 | CM _A | CM _A / CM _E | $P(F > F_0^A)$ |
| Efecto B | SC _B | b-1 | CM _B | CM _B / CM _E | $P(F > F_0^B)$ |
| Efecto c | SC _C | c-1 | CM _C | CM _C / CM _E | $P(F > F_0^C)$ |
| Efecto AB | SC _{AB} | (a-1)(b-1) | CM _{AB} | CM _{AB} / CM _E | $P(F > F_0^{AB})$ |
| Efecto AC | SC _{AC} | (a-1)(c-1) | CM _{AC} | CM _{AC} / CM _E | $P(F > F_0^{AC})$ |
| Efecto BC | SC _{BC} | (b-1)(c-1) | CM _{BC} | CM _{BC} / CM _E | $P(F > F_0^{BC})$ |
| Efecto ABC | SC _{ABC} | (a-1)(b-1)(c-1) | CM _{ABC} | CM _{ABC} / CM _E | $P(F > F_0^{ABC})$ |
| Error | SC _E | abc (n-1) | CM _E | CM _E / CM _E | |
| Total | SC _T | abcn-1 | | | |

$$SC_{ABC} = \sum_{l=1}^A \sum_{j=1}^B \sum_{k=1}^C \frac{Y_{ljk}^2}{n} - \frac{Y^2}{N} - SC_A - SC_B - SC_C$$

Método de Tukey

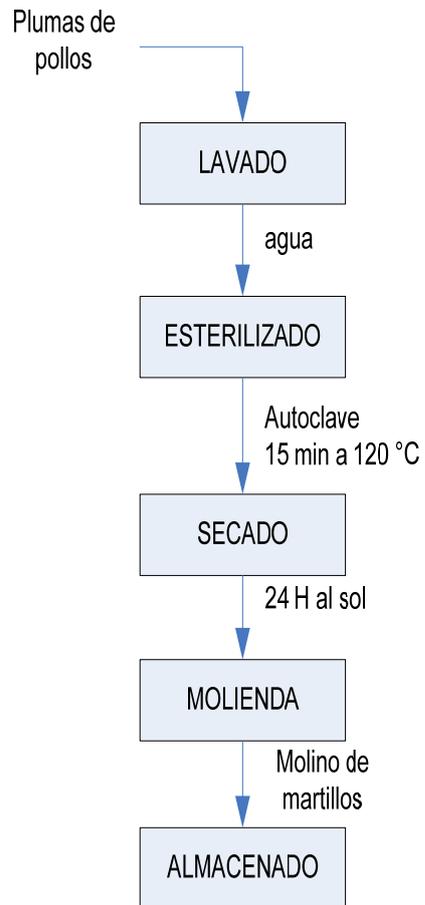
Es un método más conservador para comparar pares de medias de tratamientos, el cual consiste en comparar las diferencias entre medias muestrales con el valor crítico dado por:

$$T_\alpha = q_\alpha(k, N-K) \sqrt{CM_E / N_i}$$

Donde CM_E es el cuadro medio del error, n es el número de observaciones por tratamientos, k es el número de tratamientos, $N-K$ es igual a los grados de libertad para el error, α es el nivel de significancia prefijado y el estadístico $q_\alpha(k, N-K)$ son puntos porcentuales de la distribución del rango estandarizado, que se obtienen de la correspondiente tabla en el libro de apéndice de Gutiérrez, 2008 Se declaran significativamente diferentes los pares de medias cuya diferencia muestral en valor absoluto sea mayor que T_α . A diferencia de los métodos LSD y Duncan, el método de Tukey trabaja con un error α muy cercano al declarado por el experimentador.

ANEXO C. Técnicas e Informes de Laboratorios.

C.1 Técnica de Macedo (2002), para la obtención de plumas pollo hidrolizadas



C.2 Resultado de las pruebas de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) pág. II



OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
LABORATORIO DE QUIMICA AMBIENTAL
INFORME DE RESULTADOS



INF-LAB-QAM-18188
ORDEN DE TRABAJO
No025864

SOLICITADO POR
DIRECCIÓN:
FECHA DE RECEPCIÓN:
HORA DE RECEPCIÓN:
MUESTRA DE:
DESCRIPCIÓN
FECHA DE ANÁLISIS
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARÍA

SALINAS VILLACIS RUBEN
DIEGO DE ATIENZA OE3-55 Y ULLOA
15/12/2009
11H34
AGUA
MUESTRAS EN CINÉTICA EN REPOSO
25/11 AL 03/12/2009
18/01/2010

CARACTERÍSTICAS DE LAS MUESTRAS
ESTADO:
CONTENIDO:
MUESTRADO POR:
OBSERVACIONES

POCO TURBIA
LIQUIDO
2 LITROS
CLIENTE
Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra tomada por el CLIENTE y entregada al OSP

INFORME

| CODIGO | PARÁMETROS | UNIDADES | RESULTADOS | MÉTODO |
|--------|------------|---------------------|------------|------------|
| A1 | DBO | mgO ₂ /L | 5,71 | APHA5210 B |
| A2 | DBO | mgO ₂ /L | 2,78 | APHA5210 B |
| A3 | DBO | mgO ₂ /L | 4,45 | APHA5210 B |
| B1 | DBO | mgO ₂ /L | 6,46 | APHA5210 B |
| B2 | DBO | mgO ₂ /L | 7,63 | APHA5210 B |
| B3 | DBO | mgO ₂ /L | 2,5 | APHA5210 B |
| C1 | DBO | mgO ₂ /L | 4,58 | APHA5210 B |
| C2 | DBO | mgO ₂ /L | 6,97 | APHA5210 B |
| C3 | DBO | mgO ₂ /L | 6,97 | APHA5210 B |

Los servicios mencionados con el 2 no están incluidos en el alcance de la acreditación del CAE 07 No. CAE 14. 04.002



Jefe Área de Química Ambiental



OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
LABORATORIO DE QUIMICA AMBIENTAL
INFORME DE RESULTADOS



INF-LAB-QAM-18188
ORDEN DE TRABAJO
No025864

SOLICITADO POR
DIRECCIÓN:
FECHA DE RECEPCIÓN:
HORA DE RECEPCIÓN:
MUESTRA DE:
DESCRIPCIÓN
FECHA DE ANÁLISIS
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARÍA

SALINAS VILLACIS RUBEN
DIEGO DE ATIENZA OE3-55 Y ULLOA
15/12/2009
11H34
AGUA
MUESTRAS EN CINÉTICA EN REPOSO
25/11 AL 03/12/2009
18/01/2010

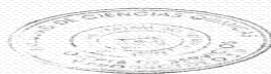
CARACTERÍSTICAS DE LAS MUESTRAS
ESTADO:
CONTENIDO:
MUESTRADO POR:
OBSERVACIONES

POCO TURBIA
LIQUIDO
2 LITROS
CLIENTE
Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra tomada por el CLIENTE y entregada al OSP

INFORME

| CODIGO | PARÁMETROS | UNIDADES | RESULTADOS | MÉTODO |
|--------|------------|---------------------|------------|------------|
| D1 | DBO | mgO ₂ /L | 7,57 | APHA5210 B |
| D2 | DBO | mgO ₂ /L | 5,87 | APHA5210 B |
| D3 | DBO | mgO ₂ /L | 6,24 | APHA5210 B |
| E1 | DBO | mgO ₂ /L | 7,45 | APHA5210 B |
| E2 | DBO | mgO ₂ /L | 5,89 | APHA5210 B |
| E3 | DBO | mgO ₂ /L | 3,49 | APHA5210 B |
| F1 | DBO | mgO ₂ /L | 4,68 | APHA5210 B |
| F2 | DBO | mgO ₂ /L | 5,56 | APHA5210 B |
| F3 | DBO | mgO ₂ /L | 6,97 | APHA5210 B |

Los servicios mencionados con el 2 no están incluidos en el alcance de la acreditación del CAE 07 No. CAE 14. 04.002



Jefe Área de Química Ambiental



OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
LABORATORIO DE QUIMICA AMBIENTAL
INFORME DE RESULTADOS



INF-LAB-QAM-18188
ORDEN DE TRABAJO
No025864

SOLICITADO POR
DIRECCIÓN:
FECHA DE RECEPCION:
HORA DE RECEPCION:
MUESTRA DE:
DESCRIPCION
FECHA DE ANALISIS
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA

SALINAS VILLACIS RUBEN
DIEGO DE ATIENZA OE3-55 Y ULLOA
15/12/2009
11H34
AGUA
MUESTRAS EN CINÉTICA EN MOVIMIENTO
25/11 AL 03/12/2009
18/01/2010

CARACTERISTICAS DE LAS MUESTRAS
ESTADO:
CONTENIDO:
MUESTRADO POR:
OBSERVACIONES

POCO TURBIA
LIQUIDO
2 LITROS
CLIENTE
Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra tomada por el CLIENTE y entregada al OSP

INFORME

| CODIGO | PARÁMETROS | UNIDADES | RESULTADOS | MÉTODO |
|--------|------------|---------------------|------------|------------|
| G1 | DBO | mgO ₂ /L | 16,02 | APHA5210 B |
| G2 | DBO | mgO ₂ /L | 20,01 | APHA5210 B |
| G3 | DBO | mgO ₂ /L | 15,45 | APHA5210 B |
| H1 | DBO | mgO ₂ /L | 19,26 | APHA5210 B |
| H2 | DBO | mgO ₂ /L | 22,57 | APHA5210 B |
| H3 | DBO | mgO ₂ /L | 11,74 | APHA5210 B |
| I1 | DBO | mgO ₂ /L | 15,78 | APHA5210 B |
| I2 | DBO | mgO ₂ /L | 19,78 | APHA5210 B |
| I3 | DBO | mgO ₂ /L | 19,48 | APHA5210 B |



Los resultados presentados son el resultado obtenido en el laboratorio de la acreditación del OASIS



[Signature]
JEFE AREA DE QUIMICA AMBIENTAL



OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
LABORATORIO DE QUIMICA AMBIENTAL
INFORME DE RESULTADOS



INF-LAB-QAM-18188
ORDEN DE TRABAJO
No025864

SOLICITADO POR
DIRECCIÓN:
FECHA DE RECEPCION:
HORA DE RECEPCION:
MUESTRA DE:
DESCRIPCION
FECHA DE ANALISIS
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA

SALINAS VILLACIS RUBEN
DIEGO DE ATIENZA OE3-55 Y ULLOA
15/12/2009
11H34
AGUA
MUESTRAS EN CINÉTICA EN MOVIMIENTO
25/11 AL 03/12/2009
18/01/2010

CARACTERISTICAS DE LAS MUESTRAS
ESTADO:
CONTENIDO:
MUESTRADO POR:
OBSERVACIONES

POCO TURBIA
LIQUIDO
2 LITROS
CLIENTE
Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra tomada por el CLIENTE y entregada al OSP

INFORME

| CODIGO | PARÁMETROS | UNIDADES | RESULTADOS | MÉTODO |
|--------|------------|---------------------|------------|------------|
| I1 | DBO | mgO ₂ /L | 16,34 | APHA5210 B |
| I2 | DBO | mgO ₂ /L | 17,07 | APHA5210 B |
| I3 | DBO | mgO ₂ /L | 17,89 | APHA5210 B |
| K1 | DBO | mgO ₂ /L | 16,62 | APHA5210 B |
| K2 | DBO | mgO ₂ /L | 18,04 | APHA5210 B |
| K5 | DBO | mgO ₂ /L | 19,22 | APHA5210 B |
| L1 | DBO | mgO ₂ /L | 17,8 | APHA5210 B |
| L2 | DBO | mgO ₂ /L | 16,76 | APHA5210 B |
| L3 | DBO | mgO ₂ /L | 16,57 | APHA5210 B |



Los resultados presentados son el resultado obtenido en el laboratorio de la acreditación del OASIS



[Signature]
JEFE AREA DE QUIMICA AMBIENTAL

C3. Resultados de las pruebas de Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH)



**OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
LABORATORIO DE QUIMICA AMBIENTAL
INFORME DE RESULTADOS**



**INF-LAB-QAM-18582
ORDEN DE TRABAJO No 025818**

| | |
|--|--|
| SOLICITADO POR: | SALINAS VILLACÍS RUBEN |
| DIRECCIÓN: | DIEGO DE ATIENZA OE-355 Y ULLOA |
| FECHA DE RECEPCIÓN: | 09/12/09 |
| HORA DE RECEPCIÓN: | 11H24 |
| MUESTRA DE: | HARINA DE POLLO |
| DESCRIPCION: | SEGÚN DESCRIPCION |
| FECHA DE ANALISIS: | 09/12/2009 AL 09/02/2010 |
| FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA | 25/02/10 |
| CARACTERISTICAS DE LAS MUESTRAS: | DESCRITO EN EL INFORME |
| ESTADO: | SÓLIDO |
| CONTENIDO: | 500 g |
| MUESTREADO POR: | CLIENTE |
| OBSERVACIONES: | Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra tomada por el cliente y entregado al OSP. |

INFORME

| CÓDIGO | CARACTERISTICAS | TPH % | MÉTODOS |
|--------|------------------------------------|----------|--------------|
| A1 | HARINA PURA EN REPOSO 5 MIN. | 26.75 | GRAVIMÉTRICO |
| C3 | HARINA GRUESA EN REPOSO 5 MIN. | 27.73 | GRAVIMÉTRICO |
| F2 | HARINA FINA EN REPOSO 5 MIN. | 34.29 | GRAVIMÉTRICO |
| H2 | HARINA PURA EN AGITACIÓN 15 MIN. | 20.76 | GRAVIMÉTRICO |
| J3 | HARINA GRUESA EN AGITACIÓN 15 MIN. | 27.55 | GRAVIMÉTRICO |
| K3 | HARINA FINA EN AGITACIÓN 15 MIN. | 30.71 | GRAVIMÉTRICO |



“Los ensayos marcados con (*) no est n incluidos en el alcance de la acreditación del OAE”
No OAE LE 1C 04-002





Bioq. Darwin Roldán Robles
JEFE AREA DE QUÍMICA AMBIENTAL

IMPORTANTE PARA EL USUARIO: Exija el original. La Facultad no se responsabiliza por documentos fotocopiados

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gato Sobral
E - mail: laboratoriososp@hotmail.com

Telefax Directo: 3216-740 Troncal 502-262 502-456 Ext. 31
Quito - Ecuador

RAM-4.1-04

ANEXO D. Recopilación de Datos.

D.1 Datos experimentales del tiempo de secado de las plumas de pollo

| | R | R | Promedio |
|--------------|----------|----------|----------|
| Tiempo (min) | Peso (g) | Peso (g) | (g) |
| 0 | 15 | 15 | 15 |
| 30 | 5.3 | 5.1 | 5.2 |
| 60 | 4.9 | 4.9 | 4.9 |
| 90 | 4.9 | 4.8 | 4.85 |
| 960 | 4.9 | 4.8 | 4.85 |

R=repetición

D.3 Datos de las características de las plumas de pollo

D.3.1 Propiedades físicas de la harina de plumas de pollo sin tamizar.

| Parámetros físicos de la harina de plumas | | | | | |
|---|--------------|--------------|----------|--------------|--|
| Harina sin tamizar | flotabilidad | Flamabilidad | Peso (g) | Volumen (mL) | Densidad aparente (gmL ⁻¹) |
| 1 | Si | No | 2.402 | 25 | 0.096 |
| 2 | Si | No | 2.378 | 25 | 0.095 |
| 3 | Si | No | 2.366 | 25 | 0.095 |
| Promedio | | | | | 0.0953 |

D.3.2 Propiedades físicas de la harina de plumas de pollo gruesa (malla 1 mm).

| Parámetros físicos de la harina de plumas | | | | | |
|---|--------------|--------------|----------|--------------|--|
| Harina gruesa | Flotabilidad | Flamabilidad | Peso (g) | Volumen (mL) | Densidad aparente (gmL ⁻¹) |
| 1 | Si | No | 2.593 | 25 | 0.104 |
| 2 | Si | No | 2.615 | 25 | 0.105 |
| 3 | Si | No | 2.612 | 25 | 0.104 |
| Promedio | | | | | 0.1043 |

D.2.3 Propiedades físicas de la harina de plumas de pollo fina (malla 0,25mm).

| Parámetros físicos de la harina de plumas | | | | | |
|---|--------------|--------------|----------|--------------|-------------------------------------|
| Harina Fina | flotabilidad | Flamabilidad | Peso (g) | Volumen (mL) | Densidad aparente gmL^{-1} |
| 1 | Si | No | 2.792 | 25 | 0.112 |
| 2 | Si | No | 2.819 | 25 | 0.113 |
| 3 | Si | No | 2.737 | 25 | 0.110 |
| Promedio | | | | | 0.1116 |

D.3 Datos de la concentración mínima de crudo para agua en reposo y en movimiento.

| Cinética del agua en reposo (mg/L) | | | | | | |
|------------------------------------|---------------|---------------|---------------|-----------|--------------|---------------|
| Volumen (mL) | 150 | 100 | 50 | 25 | 15 | 0 |
| 1 | 181 | 139 | 121 | 69 | 18 | <10 |
| 2 | 183 | 142 | 118 | 72 | 19 | <10 |
| 3 | 187 | 140 | 119 | 69 | 19 | <10 |
| Promedio | 183,67 | 140,33 | 119,33 | 70 | 18,67 | <10 |

| Cinética del agua en movimiento (mg/L) | | | | | |
|--|---------------|---------------|---------------|--------------|---------------|
| Volumen (mL) | 100 | 50 | 25 | 15 | 0 |
| 1 | 278 | 209 | 143 | 30 | <10 |
| 2 | 266 | 213 | 139 | 29 | <10 |
| 3 | 267 | 212 | 138 | 24 | <10 |
| Promedio | 270,33 | 211,33 | 140,00 | 27,67 | <10 |

D.4 Datos del tiempo de contacto de la harina de plumas con el hidrocarburo.

| | Tiempo (min) | | | | |
|---------------------------|---------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| Harina sin Tamizar | 0 | 5 | 15 | 30 | 960 |
| 1 | 11 | 38.1 | 38.0 | 39.1 | 39.3 |
| 2 | 11 | 38.2 | 38.4 | 38.9 | 39.3 |
| 3 | 11 | 38.0 | 38.3 | 39.3 | 39.0 |
| Promedio | 11 | 38.1 | 38.23 | 39.10 | 39.20 |

| | Tiempo (min) | | | | |
|----------------------|---------------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| Harina Gruesa | 0 | 5 | 15 | 30 | 960 |
| 1 | 11 | 38.3 | 38.7 | 38.9 | 39.3 |
| 2 | 11 | 38 | 38.6 | 38.55 | 39.3 |
| 3 | 11 | 38 | 38.7 | 39.7 | 38.9 |
| Promedio | 11 | 38.1 | 38.7 | 39.05 | 39.17 |

| | Tiempo (min) | | | | |
|--------------------|---------------------|--------------|--------------|-------------|--------------|
| Harina Fina | 0 | 5 | 15 | 30 | 960 |
| 1 | 11 | 38.3 | 38.7 | 38.6 | 39.3 |
| 2 | 11 | 38.9 | 38.6 | 39.0 | 39.3 |
| 3 | 11 | 39 | 38.6 | 39.7 | 38.8 |
| Promedio | 11 | 38.73 | 38.63 | 39.1 | 39.13 |

D.5 Datos de la capacidad de sorción

| Harina sin tamizar | | | | | | | | | |
|--------------------|-------|-------|--------------|-------|-------|--------------|-------|-------|-------------|
| | m_t | m_0 | C_t (20 g) | m_t | m_0 | C_t (15 g) | m_t | m_0 | C_t (11g) |
| 1 | 66,4 | 20 | 2,32 | 45,4 | 15 | 2,03 | 39,09 | 11 | 2,55 |
| 2 | 65,2 | 20 | 2,26 | 44,8 | 15 | 1,99 | 39,13 | 11 | 2,56 |
| 3 | 65,4 | 20 | 2,27 | 45,4 | 15 | 2,03 | 39,13 | 11 | 2,56 |
| Promedio | | | 2,283 | | | 2,01 | | | 2,56 |

| | m_t | m_0 | C_t (10 g) | m_t | m_0 | C_t (9 g) | m_t | m_0 | C_t (8 g) |
|-----------------|-------|-------|--------------|-------|-------|-------------|-------|-------|--------------|
| 1 | 38,5 | 10 | 2,85 | 33,9 | 9 | 2,77 | 30,89 | 8 | 2,861 |
| 2 | 38,4 | 10 | 2,84 | 33,79 | 9 | 2,75 | 30,89 | 8 | 2,861 |
| 3 | 38,5 | 10 | 2,85 | 33,71 | 9 | 2,75 | 30,76 | 8 | 2,845 |
| Promedio | | | 2,85 | | | 2,76 | | | 2,86 |

C_t : capacidad de sorción

m_t : masa del material impregnado (peso del sorbento e hidrocarburo sorbido)

m_0 : masa del material sorbente seco

Harina gruesa

| | m_t | m_0 | C_t (15 g) | m_t | m_0 | C_t (11 g) | m_t | m_0 | C_t (10g) |
|-----------------|-------|-------|--------------|-------|-------|--------------|-------|-------|-------------|
| 1 | 45,31 | 15 | 2,020667 | 40,19 | 11 | 2,65 | 37,5 | 10 | 2,75 |
| 2 | 45,55 | 15 | 2,036667 | 40,12 | 11 | 2,65 | 37,6 | 10 | 2,76 |
| 3 | 45,65 | 15 | 2,043333 | 40,65 | 11 | 2,70 | 37,6 | 10 | 2,76 |
| Promedio | | | 2,03 | | | 2,67 | | | 2,76 |

| | m_t | m_0 | C_t (9 g) | m_t | m_0 | C_t (8 g) |
|-----------------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------------|
| 1 | 35,69 | 9 | 2,97 | 32,56 | 8 | 3,07 |
| 2 | 35,69 | 9 | 2,97 | 32,57 | 8 | 3,07 |
| 3 | 35,59 | 9 | 2,95 | 32,57 | 8 | 3,07 |
| Promedio | | | 2,96 | | | 3,07 |

Harina fina

| | m_t | m_0 | C_t (15 g) | m_t | m_0 | C_t (11 g) | m_t | m_0 | C_t (10g) |
|-----------------|-------|-------|--------------|-------|-------|--------------|-------|-------|-------------|
| 1 | 58,21 | 15 | 2,88 | 39,67 | 11 | 2,6064 | 38 | 10 | 2,8 |
| 2 | 57,45 | 15 | 2,83 | 39,89 | 11 | 2,6264 | 37,89 | 10 | 2,789 |
| 3 | 58,21 | 15 | 2,88 | 39,86 | 11 | 2,6236 | 37,98 | 10 | 2,798 |
| Promedio | | | 2,86 | | | 2,62 | | | 2,80 |

| | m_t | m_0 | C_t (9 g) | m_t | m_0 | C_t (8 g) |
|-----------------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------------|
| 1 | 36,09 | 9 | 3,01 | 32,87 | 8 | 3,1088 |
| 2 | 36,67 | 9 | 3,07 | 32,12 | 8 | 3,015 |
| 3 | 36,09 | 9 | 3,01 | 32,54 | 8 | 3,0675 |
| Promedio | | | 3,03 | | | 3,06 |

Capacidad de sorcion de la harina de plumas de pollo en el agua

Harina sin tamizar

| | m_t | m_0 | C_t |
|-----------------|-------|-------|-------------|
| 1 | 15,55 | 11 | 0,41 |
| 2 | 15,42 | 11 | 0,40 |
| 3 | 15,55 | 11 | 0,41 |
| Promedio | | | 0,41 |

Harina gruesa

| | m_t | m_0 | C_t |
|-----------------|-------|-------|-------------|
| 1 | 13,95 | 11 | 0,27 |
| 2 | 13,85 | 11 | 0,26 |
| 3 | 13,98 | 11 | 0,27 |
| Promedio | | | 0,27 |

Harina fina

| | m_t | m_0 | C_t |
|-----------------|-------|-------|-------------|
| 1 | 12,89 | 11 | 0,17 |
| 2 | 13,01 | 11 | 0,18 |
| 3 | 12,75 | 11 | 0,16 |
| Promedio | | | 0,17 |

ANEXO E: Datos de la corrección °API

E.1 Tabla de corrección °API

The image shows two tables from a petroleum measurement manual. The left table is titled 'API Gravity at Observed Temperature' and 'Corresponding API Gravity at 60° F.'. The right table is also titled 'API Gravity at Observed Temperature' and 'Corresponding API Gravity at 60° F.'. Both tables show observed temperature (°F) on the y-axis and corresponding API gravity at 60°F on the x-axis. The tables are used to correct API gravity measurements taken at different temperatures to a standard 60°F.

Petroleum Measurement Tables.

E.2 Datos experimentales

| Muestra | Norma | ° API observada | T. observada (°C) |
|---------|------------|-----------------|-------------------|
| Crudo | ASTM D-287 | 23.1 | 21.1 |

E.3 Datos para la interpolación de la corrección °API

| T (°F) | ° API corregido |
|--------|-----------------|
| 70 | 22,4 |
| | 23,4 |

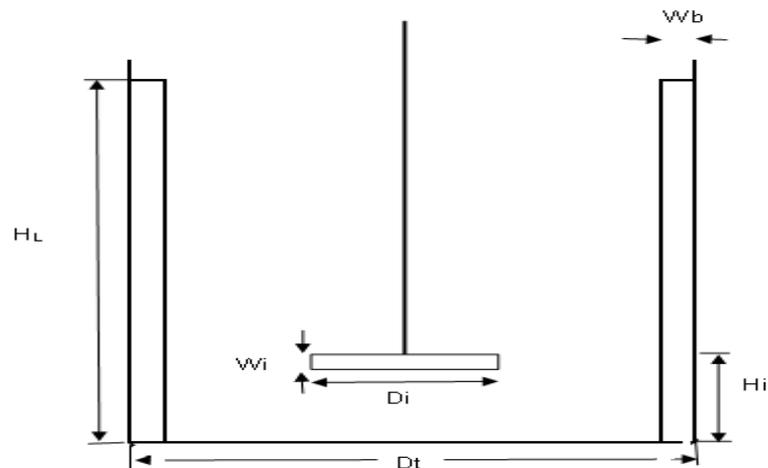
ANEXO F: Construcción del agitador.

El diseño del rodete se puede elegir entre un rodete de hélice o de turbinas de palas planas e inclinadas o turbina Rushton, debido a que la densidad del agua es de 100 centipoise. (Doran, pág. 148).

Datos:

$H_L = 20$ cm

$D_T = 20$ cm



Diseño del agitador

| | Parámetros | Dimensiones |
|-----------------------------|-------------------|--------------------|
| Parámetros de diseño | W_i/D_i | 0,2 |
| | L_i/D_i | 0,25 |
| | D_t/D_i | 3 |
| | H_L/D_i | 3 |

Fuente: Doran.

$$\frac{D_T}{D_i} \approx 3 \quad D_i \approx \frac{20}{3} \approx 6,66 \text{ cm}$$

$$\frac{H_L}{D_i} \approx 3 \quad H_L \approx 6,66 \times 3 \approx 19,98 \text{ cm}$$

$$\frac{H_i}{D_i} \approx 1 \quad H_i \approx 1 \times 6,66 \approx 6,66 \text{ cm}$$

$$\frac{W_i}{D_i} \approx 0,2 \quad W_i \approx 0,2 \times 6,66 \approx 1,33$$

$$\frac{L_i}{D_i} \approx 0,25 \quad L_i \approx 0,25 \times 6,66 \approx 1,66$$

Cálculo de la velocidad del Agitador:

El tiempo de mezcla es de 30 minutos según Gonzales Diana.

$$Ni \cdot tm = \frac{1,54 V_L}{D_i^3} \quad Ni = \frac{1,54(8.000 \text{ cm}^3)}{6,66^3 \text{ cm}^3 \times (30 \text{ min})} = \frac{12320}{8862,24} = \frac{1,39}{\text{min}}$$

$$Re_i \approx \frac{Ni \cdot D_i^2 \cdot P}{\mu}$$

$$Re_i \approx \frac{1,39 \text{ min}^{-1} \times 0,066^2 \cdot 1000 \text{ Kg} / \text{m}^3}{10^{-3} \text{ Kg} / \text{m} \cdot \text{s}}$$

$$Re_i \approx 6054,84$$

Ni=

Di=diámetro interno del rodete

P=densidad del liquido

μ= viscosidad

Cálculo de la Potencia

$$P = N_p \times Ni^3 \times D_i^5$$

$$P = 5 \times 1000 \times 1,39^{-\text{min}} \times 0,066^5 \text{ m}$$

$$P = 5 \times 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 2,685 \times 1,25 \times 10^{-6}$$

$$P = 0,0168 \text{ W}$$

$$P = 16,8 \text{ KW}$$

ANEXO G Análisis y diseños estadístico utilizados en el presente estudio.

| Harina de plumas de pollo (g) | Cinética del agua | Tiempo (min) | Media | Desviación típica | N |
|-------------------------------|-------------------|--------------|-------|-------------------|----|
| Sin tamizar | Reposo | 5 | 4.953 | 0.081 | 3 |
| | | 15 | 4.977 | 0.112 | 3 |
| | | Total | 4.965 | 0.089 | 6 |
| | Movimiento | 5 | 3.943 | 0.061 | 3 |
| | | 15 | 3.580 | 0.496 | 3 |
| | | Total | 3.762 | 0.373 | 6 |
| | Total | 5 | 4.448 | 0.557 | 6 |
| | | 15 | 4.278 | 0.830 | 6 |
| | | Total | 4.363 | 0.680 | 12 |
| Gruesa | Reposo | 5 | 5.117 | 0.126 | 3 |
| | | 15 | 5.183 | 0.176 | 3 |
| | | Total | 5.150 | 0.142 | 6 |
| | Movimiento | 5 | 4.000 | 0.101 | 3 |
| | | 15 | 4.150 | 0.075 | 3 |
| | | Total | 4.075 | 0.115 | 6 |
| | Total | 5 | 4.558 | 0.620 | 6 |
| | | 15 | 4.667 | 0.579 | 6 |
| | | Total | 4.613 | 0.575 | 12 |
| Fina | Reposo | 5 | 5.090 | 0.072 | 3 |
| | | 15 | 5.023 | 0.021 | 3 |
| | | Total | 5.057 | 0.060 | 6 |
| | Movimiento | 5 | 4.137 | 0.095 | 3 |
| | | 15 | 4.260 | 0.087 | 3 |
| | | Total | 4.198 | 0.106 | 6 |
| | Total | 5 | 4.613 | 0.528 | 6 |
| | | 15 | 4.642 | 0.422 | 6 |
| | | Total | 4.628 | 0.456 | 12 |
| Total | Reposo | 5 | 5.053 | 0.113 | 9 |

| Harina de plumas de pollo (g) | Cinética del agua | Tiempo (min) | Media | Desviación típica | N |
|-------------------------------|-------------------|--------------|-------|-------------------|----|
| | | 15 | 5.061 | 0.141 | 9 |
| | | Total | 5.057 | 0.124 | 18 |
| | Movimiento | 5 | 4.027 | 0.115 | 9 |
| | | 15 | 3.997 | 0.406 | 9 |
| | | Total | 4.012 | 0.290 | 18 |
| | Total | 5 | 4.540 | 0.540 | 18 |
| | | 15 | 4.529 | 0.622 | 18 |
| | | Total | 4.534 | 0.574 | 36 |

En el cuadro se explica la estadística descriptiva para el oxígeno disuelto, donde la concentración promedio de OD, para harina sin tamizar, gruesa y fina en reposo es de 4.965 mg/L; 5.15 mg/L y 5.057 mg/L; siendo menor cuando la cinética del agua en movimiento para los tres tipos de harina de plumas de pollo 3.76 mg/L; 4.075 mg/L y 4.19 mg/L respectivamente, por lo que se concluye que mejor es trabajar con la cinética en reposo porque existe mayor OD.

Pruebas de Levene

En la prueba de contraste de Levene sobre la igualdad de las varianzas, para el caso del O.D y DBO $p < 0.01$. Se ha considerado que los supuestos de normalidad y varianza constante no tienen que cumplir de manera estricta, puesto que el procedimiento ANOVA es robusto respecto a dichos supuestos, es decir admite desviaciones de los mismos según Gutiérrez, 2008, además no cabe la aplicación de las pruebas no paramétricas considerando el pequeño número de repeticiones por tratamiento a partir de esta explicación se calcula el ANOVA.

Para la variable de la DQO, la prueba de Levene con un 95% de confianza se puede decir que las varianzas no son significativamente diferentes ($p > 0.05$), a partir de esto se calcula el ANOVA.

Mediante la prueba de Levene la capacidad de sorción con un 95% de confianza se puede decir que las varianzas no son significativamente diferentes ($p > 0.05$), a partir de esto se calcula el ANOVA.

Prueba de contraste de Levene sobre la igualdad de las varianzas para el O.D

| f | gl1 | gl2 | Significación |
|----------|------------|------------|----------------------|
| 6.596 | 11 | 24 | 0.000 |

Prueba de contraste de Levene sobre la igualdad de las varianzas para DBO.

| f | gl1 | gl2 | Significación |
|----------|------------|------------|----------------------|
| 2.831 | 11 | 24 | 0.016 |

Prueba de contraste de Levene sobre la igualdad de las varianzas para DQO.

| f | gl1 | gl2 | Significación |
|----------|------------|------------|----------------------|
| 1.972 | 11 | 24 | 0.080 |

Prueba de contraste de Levene sobre la igualdad de las varianzas error para
Capacidad de sorción

| F | gl1 | gl2 | Significación |
|----------|------------|------------|----------------------|
| 1.243 | 11 | 24 | 0.314 |

Se puede apreciar en el siguiente cuadro de la estadística descriptiva para la DBO que la harina sin tamizar con cinética del agua en reposo y en tiempo 5 y 10 min presenta menor cantidad de DBO con respecto a la cinética del agua en movimiento, este mismo efecto sucede con la harina gruesa y fina.

Estadística descriptiva para la demanda biológica de oxígeno.

| Harina de plumas de pollo (g) | Cinética del agua | Tiempo (min) | Media | Desv. típ. | N |
|--------------------------------------|--------------------------|---------------------|--------------|-------------------|----------|
| Sin tamizar | Reposo | 5 | 4.3133 | 1.4698 | 3 |
| | | 15 | 5.5300 | 2.6885 | 3 |
| | | Total | 4.9217 | 2.0492 | 6 |
| | Movimiento | 5 | 17.1600 | 2.4846 | 3 |
| | | 15 | 17.8567 | 5.5497 | 3 |
| | | Total | 17.5083 | 3.8645 | 6 |
| | Total | 5 | 10.7367 | 7.2694 | 6 |
| | | 15 | 11.6933 | 7.7971 | 6 |
| | | Total | 11.2150 | 7.2044 | 12 |
| Gruesa | Reposo | 5 | 6.1733 | 1.3799 | 3 |
| | | 15 | 6.5600 | 0.8940 | 3 |
| | | Total | 6.3667 | 1.0612 | 6 |
| | Movimiento | 5 | 17.3467 | 2.1362 | 3 |
| | | 15 | 17.1000 | 0.7754 | 3 |
| | | Total | 17.2233 | 1.4436 | 6 |
| | Total | 5 | 11.7600 | 6.3277 | 6 |
| | | 15 | 11.8300 | 5.8213 | 6 |
| | | Total | 11.7950 | 5.7970 | 12 |
| Fina | Reposo | 5 | 5.6100 | 1.9948 | 3 |
| | | 15 | 5.7367 | 1.1552 | 3 |
| | | Total | 5.6733 | 1.4595 | 6 |
| | Movimiento | 5 | 17.9600 | 1.3018 | 3 |
| | | 15 | 18.0433 | 1.4207 | 3 |
| | | Total | 18.0017 | 1.2196 | 6 |
| | Total | 5 | 11.7850 | 6.9301 | 6 |
| | | 15 | 11.8900 | 6.8394 | 6 |
| | | Total | 11.8375 | 6.5647 | 12 |
| Total | Reposo | 5 | 5.3656 | 1.6411 | 9 |
| | | 15 | 5.9422 | 1.6010 | 9 |
| | | Total | 5.6539 | 1.6005 | 18 |

| Harina de plumas de pollo (g) | Cinética del agua | Tiempo (min) | Media | Desv. típ. | N |
|-------------------------------|-------------------|--------------|---------|------------|----|
| | Movimiento | 5 | 17.4889 | 1.7998 | 9 |
| | | 15 | 17.6667 | 2.9227 | 9 |
| | | Total | 17.5778 | 2.3564 | 18 |
| | Total | 5 | 11.4272 | 6.4573 | 18 |
| | | 15 | 11.8044 | 6.4508 | 18 |
| | | Total | 11.6158 | 6.3641 | 36 |

Para la estadística descriptiva para la DQO, se observe que la harina sin tamizar con cinética del agua en reposo y en tiempo 5 y 10 min presenta menor cantidad de DQO con respecto a la cinética del agua en movimiento, este mismo efecto sucede con la harina gruesa y fina.

Estadística descriptiva para la demanda química de oxígeno.

| Harina de plumas de pollo (g) | Cinética del agua | Tiempo (min) | Media | Desv. típ. | N |
|-------------------------------|-------------------|--------------|--------|------------|----|
| Sin tamizar | Reposo | 5 | 14.333 | 3.055 | 3 |
| | | 15 | 13.667 | 5.508 | 3 |
| | | Total | 14.000 | 4.000 | 6 |
| | Movimiento | 5 | 63.333 | 14.978 | 3 |
| | | 15 | 63.000 | 15.716 | 3 |
| | | Total | 63.167 | 13.732 | 6 |
| | Total | 5 | 38.833 | 28.527 | 6 |
| | | 15 | 38.333 | 29.001 | 6 |
| | | Total | 38.583 | 27.427 | 12 |
| Gruesa | Reposo | 5 | 18.667 | 7.506 | 3 |
| | | 15 | 19.000 | 4.000 | 3 |
| | | Total | 18.833 | 5.382 | 6 |
| | Movimiento | 5 | 71.000 | 9.000 | 3 |
| | | 15 | 69.667 | 2.309 | 3 |
| | | Total | 70.333 | 5.922 | 6 |
| | Total | 5 | 44.833 | 29.607 | 6 |
| | | 15 | 44.333 | 27.905 | 6 |
| | | Total | 44.583 | 27.431 | 12 |

| Harina de plumas de pollo (g) | Cinética del agua | Tiempo (min) | Media | Desv. típ. | N |
|-------------------------------|-------------------|--------------|--------|------------|----|
| Fina | Reposo | 5 | 18.667 | 5.508 | 3 |
| | | 15 | 18.333 | 5.033 | 3 |
| | | Total | 18.500 | 4.722 | 6 |
| | Movimiento | 5 | 71.667 | 7.371 | 3 |
| | | 15 | 72.000 | 8.544 | 3 |
| | | Total | 71.833 | 7.139 | 6 |
| | Total | 5 | 45.167 | 29.607 | 6 |
| | | 15 | 45.167 | 30.056 | 6 |
| | | Total | 45.167 | 28.444 | 12 |
| Total | Reposo | 5 | 17.222 | 5.357 | 9 |
| | | 15 | 17.000 | 4.924 | 9 |
| | | Total | 17.111 | 4.993 | 18 |
| | Movimiento | 5 | 68.667 | 10.296 | 9 |
| | | 15 | 68.222 | 9.884 | 9 |
| | | Total | 68.444 | 9.793 | 18 |
| | Total | 5 | 42.944 | 27.639 | 18 |
| | | 15 | 42.611 | 27.421 | 18 |
| | | Total | 42.778 | 27.135 | 36 |

La capacidad de sorción de la harina de plumas de pollo en la estadística descriptiva presenta que para la harina sin tamizar, gruesa y fina presenta una mayor adsorción, en comparación a la que se encuentra en movimiento.

Estadística descriptiva para la capacidad de sorción

| Harina de plumas de pollo (g) | Cinética del agua | Tiempo (min) | Media | Desv. típ. | N |
|-------------------------------|-------------------|--------------|--------|------------|---|
| Sin tamizar | Reposo | 5 | 2.5300 | 0.0656 | 3 |
| | | 15 | 2.6000 | 0.0300 | 3 |
| | | Total | 2.5650 | 0.0596 | 6 |
| | Movimiento | 5 | 1.8667 | 0.1450 | 3 |
| | | 15 | 1.9733 | 0.0709 | 3 |

| Harina de plumas de pollo (g) | Cinética del agua | Tiempo (min) | Media | Desv. típ. | N |
|-------------------------------|-------------------|--------------|--------|------------|--------|
| | Total | Total | 1.9200 | 0.1176 | 6 |
| | | 5 | 2.1983 | 0.3770 | 6 |
| | | 15 | 2.2867 | 0.3467 | 6 |
| | | Total | 2.2425 | 0.3484 | 12 |
| Gruesa | Reposo | 5 | 2.6400 | 0.0520 | 3 |
| | | 15 | 2.5900 | 0.0854 | 3 |
| | | Total | 2.6150 | 0.0689 | 6 |
| | Movimiento | 5 | 1.9000 | 0.0200 | 3 |
| | | 15 | 1.8567 | 0.1050 | 3 |
| | | Total | 1.8783 | 0.0717 | 6 |
| | Total | 5 | 2.2700 | 0.4068 | 6 |
| | | 15 | 2.2233 | 0.4107 | 6 |
| | | Total | 2.2467 | 0.3905 | 12 |
| | Fina | Reposo | 5 | 2.5833 | 0.1332 |
| 15 | | | 2.6533 | 0.1102 | 3 |
| Total | | | 2.6183 | 0.1158 | 6 |
| Movimiento | | 5 | 2.1400 | 0.1453 | 3 |
| | | 15 | 2.0367 | 0.1026 | 3 |
| | | Total | 2.0883 | 0.1259 | 6 |
| Total | | 5 | 2.3617 | 0.2729 | 6 |
| | | 15 | 2.3450 | 0.3509 | 6 |
| | | Total | 2.3533 | 0.2999 | 12 |
| Total | | Reposo | 5 | 2.5844 | 0.0919 |
| | 15 | | 2.6144 | 0.0772 | 9 |
| | Total | | 2.5994 | 0.0838 | 18 |
| | Movimiento | 5 | 1.9689 | 0.1653 | 9 |
| | | 15 | 1.9556 | 0.1136 | 9 |
| | | Total | 1.9622 | 0.1377 | 18 |
| | Total | 5 | 2.2767 | 0.3422 | 18 |
| | | 15 | 2.2850 | 0.3518 | 18 |
| | | Total | 2.2808 | 0.3421 | 36 |

Gráfico de la comparación de la turbidez de los diferentes tratamientos con la cinética del agua en reposo (A hasta F) y en movimiento (G hasta L) antes y después.

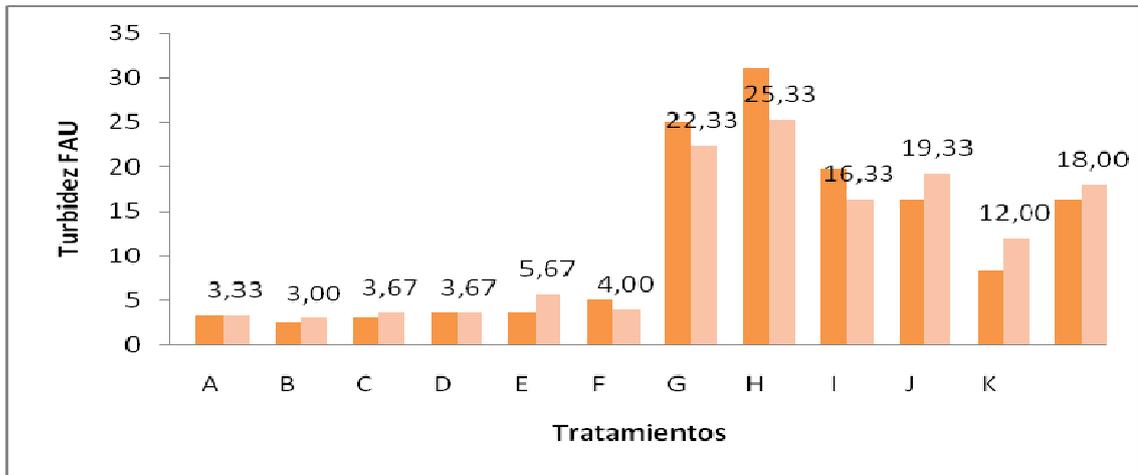


Gráfico de la comparación de los diferentes tratamientos (A hasta L) antes y después del tratamiento midiendo los sólidos suspendidos y su relación con los límites permisibles.

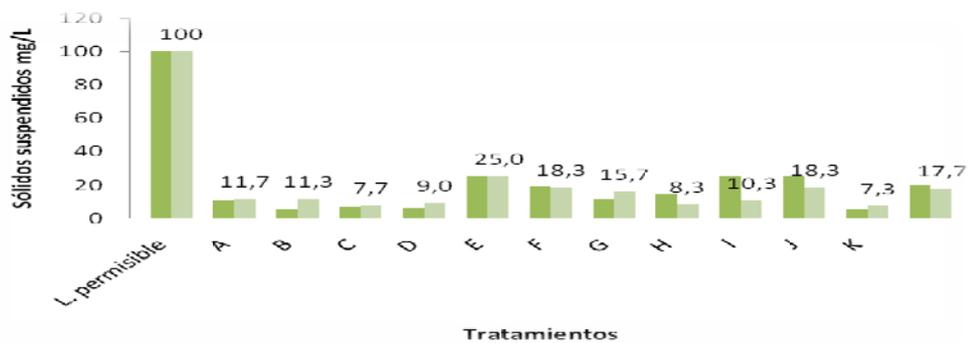


Gráfico de la cantidad de sólidos disueltos antes y después de cada tratamiento con la cinética del agua en reposo (A hasta F) y con el movimiento (G hasta L) y su comparación con el límite permisible.

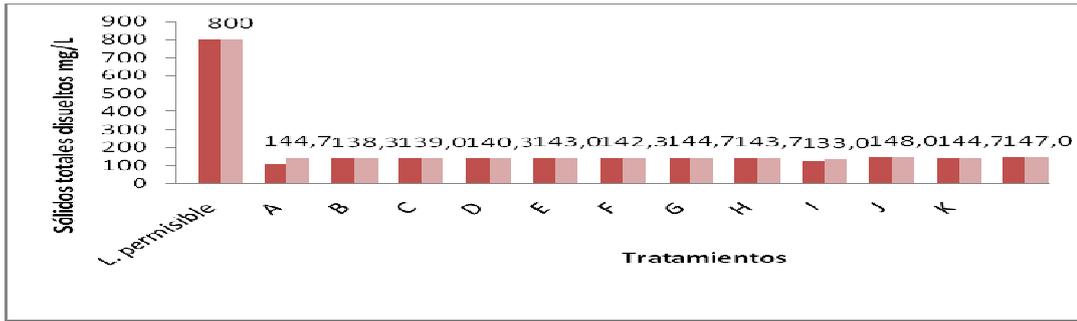
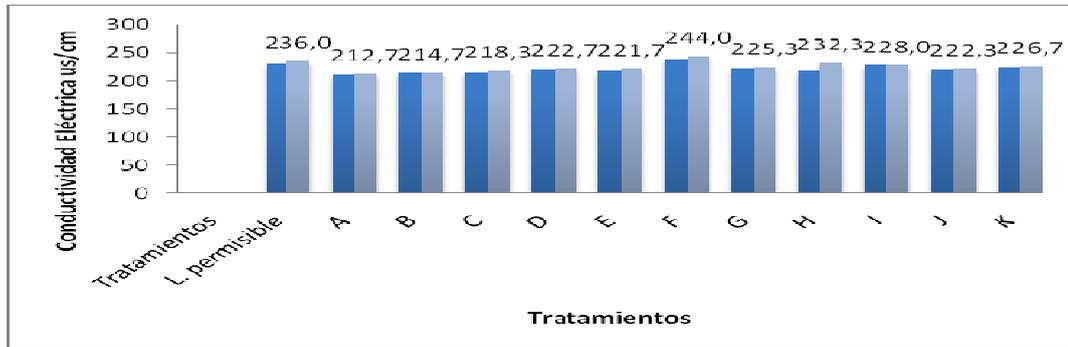


Gráfico de la conductividad eléctrica antes y después de cada tratamiento con la cinética del agua en reposo (A hasta F) y con el movimiento (G hasta K) y su comparación con el límite permisible de las normas o leyes ver anexo A.



Datos después de la biorremediación

Demanda química de oxígeno

| Tratamientos | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Repeticiones | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 17 | 11 | 10 | 23 | 25 | 19 | 51 | 60 | 71 | 71 | 69 | 63 |
| 2 | 11 | 20 | 23 | 19 | 16 | 13 | 80 | 80 | 80 | 71 | 66 | 73 |
| 3 | 15 | 10 | 23 | 15 | 15 | 23 | 59 | 49 | 62 | 67 | 80 | 80 |
| Total | 43 | 41 | 56 | 57 | 56 | 55 | 190 | 189 | 213 | 209 | 215 | 216 |
| Promedio | 14,33 | 13,67 | 18,67 | 19,00 | 18,67 | 18,33 | 63,33 | 63,00 | 71,00 | 69,67 | 71,67 | 72,00 |
| | | | | | | 17,11 | | | | | | 68,44 |

Demanda biológica de oxígeno

| Tratamientos | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Repeticiones | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 5,71 | 6,46 | 4,58 | 7,57 | 7,45 | 4,68 | 16,02 | 19,26 | 15,78 | 16,34 | 16,62 | 17,8 |
| 2 | 2,78 | 7,63 | 6,97 | 5,87 | 5,89 | 5,56 | 20,01 | 22,57 | 19,78 | 17,07 | 18,04 | 16,76 |
| 3 | 4,45 | 2,5 | 6,97 | 6,24 | 3,49 | 6,97 | 15,45 | 11,74 | 16,48 | 17,89 | 19,22 | 19,57 |
| Total | 12,94 | 16,59 | 18,52 | 19,68 | 16,83 | 17,21 | 51,48 | 53,57 | 52,04 | 51,3 | 53,88 | 54,13 |
| Promedio | 4,31 | 5,53 | 6,17 | 6,56 | 5,61 | 5,74 | 17,16 | 17,86 | 17,35 | 17,10 | 17,96 | 18,04 |
| | 5,65 | | | | | | | | | | | 17,58 |

Oxigeno disuelto

| Tratamientos | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| Repeticiones | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 4,86 | 5,10 | 5,10 | 5,29 | 5,11 | 5,04 | 3,93 | 3,91 | 4,11 | 4,14 | 4,14 | 4,16 |
| 2 | 5,01 | 4,88 | 5,25 | 5,28 | 5,01 | 5,00 | 3,89 | 3,82 | 3,98 | 4,23 | 4,23 | 4,31 |
| 3 | 4,99 | 4,95 | 5,00 | 4,98 | 5,15 | 5,03 | 4,01 | 3,01 | 3,91 | 4,08 | 4,04 | 4,31 |
| Total | 14,86 | 14,93 | 15,35 | 15,55 | 15,27 | 15,07 | 11,83 | 10,74 | 12 | 12,45 | 12,41 | 12,78 |
| Promedio | 4,95 | 4,98 | 5,12 | 5,18 | 5,09 | 5,02 | 3,94 | 3,58 | 4,00 | 4,15 | 4,14 | 4,26 |
| | | | | | | 5,06 | | | | | | 4,01 |

Presión

| Tratamientos | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Repeticiones | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 451,6 | 452,10 | 450,70 | 450,3 | 452,5 | 450,7 | 451,6 | 451,9 | 452,4 | 452,8 | 452,8 | 452,4 |
| 2 | 452,4 | 452 | 450,7 | 450,4 | 450,7 | 450,70 | 451,60 | 451,6 | 452,1 | 452,9 | 452,8 | 451,4 |
| 3 | 452,4 | 451,1 | 451,10 | 451,0 | 452,3 | 451,1 | 451,6 | 453,8 | 452,8 | 453 | 452,8 | 452,8 |
| Total | 1356 | 1355 | 1352,5 | 1351,7 | 1356 | 1352,5 | 1354,8 | 1357,3 | 1357,3 | 1358,7 | 1358,4 | 1356,6 |
| Promedio | 452,13 | 451,73 | 450,83 | 450,57 | 451,83 | 450,83 | 451,60 | 452,43 | 452,43 | 452,90 | 452,80 | 452,20 |

pH

| Tratamientos | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| Repeticiones | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 7,63 | 7,34 | 7,12 | 6,85 | 7,85 | 7,55 | 7,78 | 7,73 | 7,73 | 7,58 | 7,57 | 7,03 |
| 2 | 7,74 | 7,68 | 7,62 | 7,64 | 7,52 | 7,34 | 7,21 | 7,66 | 7,63 | 7,51 | 7,7 | 7,54 |
| 3 | 7,46 | 7,3 | 7,22 | 7,7 | 7,54 | 7,56 | 7,92 | 7,91 | 7,76 | 7,7 | 7,66 | 7,57 |
| Total | 22,83 | 22,32 | 21,96 | 22,22 | 22,91 | 22,45 | 22,91 | 23,3 | 23,12 | 22,79 | 22,93 | 22,14 |
| Promedio | 7,61 | 7,44 | 7,32 | 7,41 | 7,64 | 7,48 | 7,64 | 7,77 | 7,71 | 7,60 | 7,64 | 7,38 |

Temperatura

| Tratamientos | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Repeticiones | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 18,7 | 19,00 | 19,50 | 19,2 | 18,9 | 20,1 | 19,5 | 18,7 | 19,8 | 19,5 | 19,8 | 18,6 |
| 2 | 18,5 | 18,9 | 19,3 | 19,2 | 19,8 | 19,20 | 20,40 | 19,3 | 19,5 | 19,7 | 19,8 | 19,4 |
| 3 | 18,5 | 19,1 | 19,40 | 19,6 | 18,9 | 19 | 19,8 | 19,5 | 19,9 | 20 | 20 | 19,3 |
| Total | 55,7 | 57 | 58,2 | 58 | 57,6 | 58,3 | 59,7 | 57,5 | 59,2 | 59,2 | 59,6 | 57,3 |
| Promedio | 18,57 | 19,00 | 19,40 | 19,33 | 19,20 | 19,43 | 19,90 | 19,17 | 19,73 | 19,73 | 19,87 | 19,10 |

Arsénico

| Tratamientos | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Repeticiones | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 0,323 | 0,32 | 0,28 | 0,277 | 0,186 | 0,186 | 0,277 | 0,232 | 0,277 | 0,03 | 0,186 | 0,323 |
| 2 | 0,414 | 0,323 | 0,19 | 0,277 | 0,186 | 0,19 | 0,19 | 0,277 | 0,277 | 0,141 | 0,277 | 0,368 |
| 3 | 0,323 | 0,368 | 0,23 | 0,3 | 0,323 | 0,323 | 0,267 | 0,232 | 0,232 | 0,277 | 0,232 | 0,275 |
| Total | 1,06 | 1,014 | 0,697 | 0,831 | 0,695 | 0,695 | 0,73 | 0,741 | 0,786 | 0,448 | 0,695 | 0,966 |
| Promedio | 0,35 | 0,34 | 0,23 | 0,28 | 0,23 | 0,23 | 0,24 | 0,25 | 0,26 | 0,15 | 0,23 | 0,32 |
| | | | | | | 0,28 | | | | | | 0,24 |

Plomo

| Tratamientos | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Repeticiones | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 0,089 | 0,145 | 0,214 | 0,21 | 0,238 | 0,243 | 0,262 | 0,274 | 0,271 | 0,259 | 0,287 | 0,291 |
| 2 | 0,105 | 0,179 | 0,190 | 0,232 | 0,233 | 0,26 | 0,27 | 0,277 | 0,282 | 0,279 | 0,268 | 0,275 |
| 3 | 0,131 | 0,19 | 0,230 | 0,2 | 0,249 | 0,253 | 0,277 | 0,271 | 0,28 | 0,275 | 0,263 | 0,251 |
| Total | 0,325 | 0,514 | 0,634 | 0,671 | 0,72 | 0,752 | 0,806 | 0,822 | 0,833 | 0,813 | 0,818 | 0,817 |
| Promedio | 0,11 | 0,17 | 0,211 | 0,22 | 0,24 | 0,25 | 0,27 | 0,27 | 0,28 | 0,27 | 0,27 | 0,27 |
| | | | | | | 0,20 | | | | | | 0,27 |

Capacidad de sorción de la harina de plumas de pollo.

| Tratamientos | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Repeticiones | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 2,54 | 2,60 | 2,61 | 2,67 | 2,65 | 2,78 | 1,72 | 1,91 | 1,9 | 1,86 | 2,15 | 2,01 |
| 2 | 2,46 | 2,57 | 2,61 | 2,6 | 2,67 | 2,60 | 1,87 | 2,05 | 1,92 | 1,75 | 1,99 | 1,95 |
| 3 | 2,59 | 2,63 | 2,70 | 2,5 | 2,43 | 2,58 | 2,01 | 1,96 | 1,88 | 1,96 | 2,28 | 2,15 |
| Total | 7,59 | 7,80 | 7,92 | 7,81 | 7,75 | 7,96 | 5,6 | 5,92 | 5,7 | 5,57 | 6,42 | 6,11 |
| Promedio | 2,53 | 2,60 | 2,64 | 2,60 | 2,58 | 2,65 | 1,87 | 1,97 | 1,90 | 1,86 | 2,14 | 2,04 |
| | | | | | | 2,60 | | | | | | 1,96 |

Conductividad eléctrica

| Tratamientos | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----|--------|--------|-----|--------|--------|
| Repeticiones | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 245 | 213 | 215 | 215 | 227 | 220 | 229 | 222 | 245 | 232 | 224 | 230 |
| 2 | 232 | 213 | 214 | 215 | 221 | 219 | 272 | 225 | 231 | 231 | 221 | 226 |
| 3 | 231 | 212 | 215 | 225 | 220 | 226 | 231 | 229 | 221 | 221 | 222 | 224 |
| Total | 708 | 638 | 644 | 655 | 668 | 665 | 732 | 676 | 697 | 684 | 667 | 680 |
| Promedio | 236,00 | 212,67 | 214,67 | 218,33 | 222,67 | 221,67 | 244 | 225,33 | 232,33 | 228 | 222,33 | 226,67 |

Sólidos totales

| Tratamientos | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----|--------|--------|-----|--------|-----|
| Repeticiones | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 143 | 139 | 138 | 139 | 142 | 144 | 144 | 143 | 143 | 149 | 147 | 148 |
| 2 | 146 | 138 | 139 | 140 | 144 | 142 | 145 | 144 | 112 | 149 | 145 | 147 |
| 3 | 145 | 138 | 140 | 142 | 143 | 141 | 145 | 144 | 144 | 146 | 142 | 146 |
| Total | 434 | 415 | 417 | 421 | 429 | 427 | 434 | 431 | 399 | 444 | 434 | 441 |
| Promedio | 144,67 | 138,33 | 139,00 | 140,33 | 143,00 | 142,33 | 145 | 143,67 | 133,00 | 148 | 144,67 | 147 |

Sólidos suspendidos

| Tratamientos | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
|--------------|-------|-------|------|------|-------|-------|----|------|-------|----|------|-------|
| Repeticiones | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 6 | 3 | 14 | 10 | 25 | 14 | 20 | 3 | 15 | 23 | 5 | 15 |
| 2 | 4 | 6 | 4 | 5 | 25 | 22 | 16 | 5 | 9 | 19 | 5 | 13 |
| 3 | 25 | 25 | 5 | 12 | 25 | 19 | 11 | 17 | 7 | 13 | 12 | 25 |
| Total | 35 | 34 | 23 | 27 | 75 | 55 | 47 | 25 | 31 | 55 | 22 | 53 |
| Promedio | 11,67 | 11,33 | 7,67 | 9,00 | 25,00 | 18,33 | 16 | 8,33 | 10,33 | 18 | 7,33 | 17,67 |

Turbidez

| Tratamientos | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
|--------------|------|------|------|------|------|------|----|-------|-------|----|-------|-------|
| Repeticiones | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 3 | 2 | 4 | 4 | 4 | 4 | 18 | 19 | 19 | 23 | 11 | 15 |
| 2 | 4 | 3 | 3 | 3 | 9 | 5 | 31 | 22 | 16 | 19 | 7 | 16 |
| 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 18 | 35 | 14 | 16 | 18 | 23 |
| Total | 10 | 9 | 11 | 11 | 17 | 12 | 67 | 76 | 49 | 58 | 36 | 54 |
| Promedio | 3,33 | 3,00 | 3,67 | 3,67 | 5,67 | 4,00 | 22 | 25,33 | 16,33 | 19 | 12,00 | 18,00 |

Color

| Tratamientos | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|-------|-------|----|-------|-------|
| Repeticiones | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 9 | 8 | 8 | 15 | 23 | 13 | 23 | 18 | 7 | 18 | 19 | 20 |
| 2 | 12 | 11 | 16 | 19 | 12 | 22 | 24 | 17 | 15 | 25 | 21 | 21 |
| 3 | 9 | 13 | 23 | 21 | 23 | 14 | 18 | 37 | 26 | 17 | 17 | 14 |
| Total | 30 | 32 | 47 | 55 | 58 | 49 | 65 | 72 | 48 | 60 | 57 | 55 |
| Promedio | 10,00 | 10,67 | 15,67 | 18,33 | 19,33 | 16,33 | 22 | 24,00 | 16,00 | 20 | 19,00 | 18,33 |

TPH

| Tratamientos | A | C | F | G | J | L |
|--------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| Repeticiones | | | | | | |
| 1 | 12,59 | 12,11 | 9,07 | 12,98 | 23,32 | 21,27 |